

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

KEMIZAM PODZEMNIH VODA CRPILIŠTA IVANŠČAK U KOPRIVNICI

Diplomski rad

Filip Brletić

GI-262

Zagreb, 2017.

Veliko hvala mentoru doc. dr. sc. Željku Duiću na pruženom povjerenju, strpljenju i znanju. Iskreno se zahvaljujem članovima povjerenstva doc. dr. sc. Jeleni Parlov i prof. dr. sc. Andrei Bačani na razumijevanju i velikoj pomoći pri izradi diplomskoga rada. Zahvaljujem se v. pred. dr. sc. Dubravki Pleše na pomoći pri izradi rada.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji Nadi, Nikoli, Zlatku, Josipi Brletić i voljenoj djevojci Matei koji su mi bili potpora tokom čitavoga studija. Bez njih ne bih ovo postigao.

Također se zahvaljujem stricu Ivanu Brletiću, djedu Nikoli Trbojeviću, bakama Đurđici Trbojević i Ani Brletić, te dragom prijatelju i „rođaku“ Ivici Juraiću na potpori.

Ovaj rad posvećujem svome djedu Josipu Brletiću koji nažalost nije doživio dan moga diplomiranja.

„Deda Joso“ ovo je za tebe!

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

KEMIZAM PODZEMNIH VODA CRPILIŠTA IVANŠČAK U KOPRIVNICI

FILIP BRLETIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu prikupljene su kemijske analize podzemnih voda crpilišta Ivanščak u Koprivnici. Analize su provedene od strane Zavoda za javno zdravstvo Koprivničko-križevačke županije i interne analize Koprivničkih voda d.o.o. Analizirati će se sljedeći parametri: temperatura, mutnoća, pH, elektrovodljivost, utrošak kalijeva permanganata, nitrati, kloridi, sulfati, kalcij, magnezij, tvrdoća, željezo i mangan. Pomoću navedenih parametara opisan je kemizam podzemnih voda na crpilištu Ivanščak.

Ključne riječi: crpilište Ivanščak, MDK, nitrati, podzemna voda

Diplomski rad sadrži: 52 stranice, 35 slika, 18 tablica, 4 priloga, 37 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: Doc. dr. sc. Željko Duić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Željko Duić

Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Datum obrane: 21.7.2017.

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

**CHEMISM OF GROUNDWATER AT THE IVANŠČAK WELL FIELD IN
KOPRIVNICA**

FILIP BRLETIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This thesis gathers the chemical analyses of groundwater at the Ivanščak well field in Koprivnica. The analyses were carried out by the Public Health Institute of the Koprivnica-Križevci County and an internal analysis of the Koprivnica water Plc. The following parameters are analyzed: temperature, murkiness, pH, electroconductivity, use of potassium permanganate, nitrates, chlorides, sulfates, calcium, magnesium, hardness, iron and manganese. Using the aforementioned parameters, the chemism of groundwater at the Ivanščak well is described.

Keywords: Ivanščak well field, MPC, nitrates, groundwater

Thesis contains: 52 pages, 35 figures, 18 tables, 4 appendices, 37 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Full Professor Andrea Bačani, PhD

Date of defense: July 21, 2017

SADRŽAJ:

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Uvod | 1 |
| 2. | Opis istraživnog područja | 2 |
| 2.1. | Geografske značajke | 2 |
| 2.2. | Klimatološke značajke | 4 |
| 2.3. | Crpilište Ivanščak | 7 |
| 3. | Geološke i hidrogeološke značajke | 9 |
| 4. | Kakvoća podzemne vode | 16 |
| 4.1. | Temperatura podzemne vode | 18 |
| 4.2. | Mutnoća podzemne vode | 20 |
| 4.3. | Ph podzemne vode | 22 |
| 4.4. | Elektrovodljivost podzemne vode | 23 |
| 4.5. | Utrošak kalijevog permanganata u podzemnoj vodi | 25 |
| 4.6. | Nitrati u podzemnoj vodi | 26 |
| 4.7. | Kloridi u podzemnoj vodi | 27 |
| 4.8. | Sulfati u podzemnoj vodi | 29 |
| 4.9. | Kalcij u podzemnoj vodi | 30 |
| 4.10. | Magnezij u podzemnoj vodi | 32 |
| 4.11. | Tvrdoća podzemne vode | 33 |
| 4.12. | Željezo u podzemnoj vodi | 35 |
| 4.13. | Mangan u podzemnoj vodi | 36 |
| 5. | Rezultati i rasprava | 38 |
| 5.1. | Temperatura podzemne vode | 38 |
| 5.2. | Mutnoća podzemne vode | 39 |
| 5.3. | Ph podzemne vode | 39 |
| 5.4. | Elektrovodljivost podzemne vode | 40 |
| 5.5. | Utrošak kalijeva permanganata u podzemnoj vodi | 41 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 5.6. Nitrati u podzemnoj vodi | 41 |
| 5.7. Kloridi u podzemnoj vodi | 42 |
| 5.8. Sulfati u podzemnoj vodi | 43 |
| 5.9. Kalcij u podzemnoj vodi | 43 |
| 5.10. Magnezij u podzemnoj vodi | 44 |
| 5.11. Tvrdoća podzemne vode | 44 |
| 5.12. Željezo u podzemnoj vodi | 45 |
| 5.13. Mangan u podzemnoj vodi | 46 |
| 6. Zaključak | 47 |
| 7. Literatura | 49 |

POPIS SLIKA:

| | |
|--|----|
| Slika 2.1 Prikaz promatranog područja na topografskoj karti. | 2 |
| Slika 2.2 Prikaz crpilišta Ivanščak na digitalnoj ortofoto karti. i fotografiji iz zraka. | 3 |
| Slika 2.3 Klimatski dijagram po Walteru, Koprivnica, prosjek od 1976. do 2005. godine (Babić et al., 2008). | 4 |
| Slika 2.4 Prosječne dnevne temperature Koprivnice u razdoblju od 1976. do 2005. godine (Babić et al., 2008). | 5 |
| Slika 2.5 Godišnje padaline na meteorološkoj postaji u Koprivnici za razdoblje 2009.-2016. godine | 5 |
| Slika 2.6 Prosječne mjesečne padaline na meteorološkoj postaji u Koprivnici za razdoblje 2009.-2016. godine. | 6 |
| Slika 3.1 Geološka karta Koprivničko-križevačke županije (Kruk & Dedić, 2014). | 9 |
| Slika 3.2 Recentni strukturno-tektonski sklop u području Legradskog praga (Duić & Urumović, 2007). | 11 |
| Slika 3.3 Legenda za recentni strukturno-tektonski sklop u području Legradskog praga (Duić & Urumović, 2007). | 12 |
| Slika 4.1 Vrijednosti temperature podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 19 |
| Slika 4.2 Vrijednosti temperature podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 20 |
| Slika 4.3 Vrijednosti mutnoće podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 21 |
| Slika 4.4 Vrijednosti mutnoće podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 21 |
| Slika 4.5 Vrijednosti pH podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 22 |
| Slika 4.6 Vrijednosti pH podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 23 |
| Slika 4.7 Vrijednosti elektrovodljivosti podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 24 |
| Slika 4.8 Vrijednosti elektovodljivosti podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 24 |
| Slika 4.9 Vrijednosti utroška kalijeva permanganata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 25 |

| | |
|---|----|
| Slika 4.10 Vrijednosti utroška kalijeva permanganata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 26 |
| Slika 4.11 Vrijednosti nitrata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 27 |
| Slika 4.12 Vrijednosti nitrata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 27 |
| Slika 4.13 Vrijednosti klorida podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 28 |
| Slika 4.14 Vrijednosti klorida podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 28 |
| Slika 4.15 Vrijednosti sulfata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 29 |
| Slika 4.16 Vrijednosti sulfata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 30 |
| Slika 4.17 Vrijednosti kalcija podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 31 |
| Slika 4.18 Vrijednosti kalcija podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 31 |
| Slika 4.19 Vrijednosti magnezija podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 32 |
| Slika 4.20 Vrijednosti magnezija podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 33 |
| Slika 4.21 Vrijednosti tvrdoće podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 34 |
| Slika 4.22 Vrijednosti tvrdoće podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 35 |
| Slika 4.23 Vrijednosti željeza podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 36 |
| Slika 4.24 Vrijednosti željeza podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak. | 36 |
| Slika 4.25 Vrijednosti mangana podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak. | 37 |

| | |
|--|----|
| Slika 4.26 Vrijednosti mangana podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak..... | 37 |
|--|----|

POPIS TABLICA:

| | |
|--|----|
| Tablica 3.1 Karakteristične vrijednosti hidraulične vodljivosti i efektivne poroznosti na lokacijama većih vodocrpilišta (Ivanščak, Delovi i Torčec) (Hlevnjak et al., 2014). | 15 |
| Tablica 4.1 Kemijske analize vode iz zdenaca B-0 i Z-1 (Hlevnjak et al., 2014). | 16 |
| Tablica 4.2 Kemijske analize vode iz piezometarskih bušotina u zapadnom i sjeverozapadnom okružju crpilišta Ivanščak (Hlevnjak et al., 2014). | 17 |
| Tablica 4.3 Vrste vode po parametru elektrovodljivosti (Dadić, 2001). | 23 |
| Tablica 4.4 Podjela s obzirom na ukupnu tvrdoću vode. | 34 |
| Tablica 5.1 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti temperature podzemne vode. ... | 38 |
| Tablica 5.2 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mutnoće podzemne vode. | 39 |
| Tablica 5.3 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti pH podzemne vode. | 40 |
| Tablica 5.4 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti elektrovodljivosti podzemne vode vode. | 40 |
| Tablica 5.5 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti utroška kalijeva permanganata u podzemnoj vodi. | 41 |
| Tablica 5.6 Minimalne, srednje i maksimalnoj vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi. | 42 |
| Tablica 5.7 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti klorida u podzemnoj vodi. | 42 |
| Tablica 5.8 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti sulfata u podzemnoj vodi. | 43 |
| Tablica 5.9 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti kalcija u podzemnoj vodi. | 43 |
| Tablica 5.10 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti magnezija u podzemnoj vodi. | 44 |
| Tablica 5.11 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti tvrdoće podzemne vode.. | 45 |
| Tablica 5.12 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti željeza u podzemnoj vodi. | 45 |
| Tablica 5.13 Minimalne, srednje, maksimalne vrijednosti mangana u podzemnoj vodi. ... | 46 |

POPIS PRILOGA:

Prilog 1 Crpilišta u blizini crpilišta Ivanščak.

Prilog 2 Karakterističan profil vodonosnika na crpilištu Ivanščak (Duić & Urumović, 2007).

Prilog 3 Regionalni profil preko crpilišta Ivanščak (Duić & Urumović, 2007).

Prilog 4 Lokacija objekata na kojima je provedena analiza podzemne vode.

1. UVOD

Crpilište Ivanščak nalazi se u području Koprivničke Podravine koja pripada zapadnom dijelu Dravskog bazena. Na crpilištu Ivanščak zahvaćene su podzemne vode iz otvorenog vodonosnika formiranog u kvartarnim nanosima šljunka i pijeska. Šljunčani sloj nalazi se na dubini od oko 8 do oko 40 m i pokriven je slojem praha i prašinaste gline koji doseže do površine terena. U vrijeme izvedbe prvih zdenaca vodna ploha vodonosnika bila je na dubini do oko 9 m. Podzemne vode u promatranom području obnavljaju se dominantno pod utjecajem padalina. Površinski tokovi ovdje predstavljaju najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima (Duić & Urumović, 2007).

Najstariji pouzdani podaci o kemizmu podzemne vode na crpilištu Ivanščak s kojima se raspolagalo su rezultati kemijskih analiza vode načinjeni prigodom pokusnoga crpljenja zdenca B-0 (Capar, 1985b). Od tada se kontinuirano vrše kemijske analize vode.

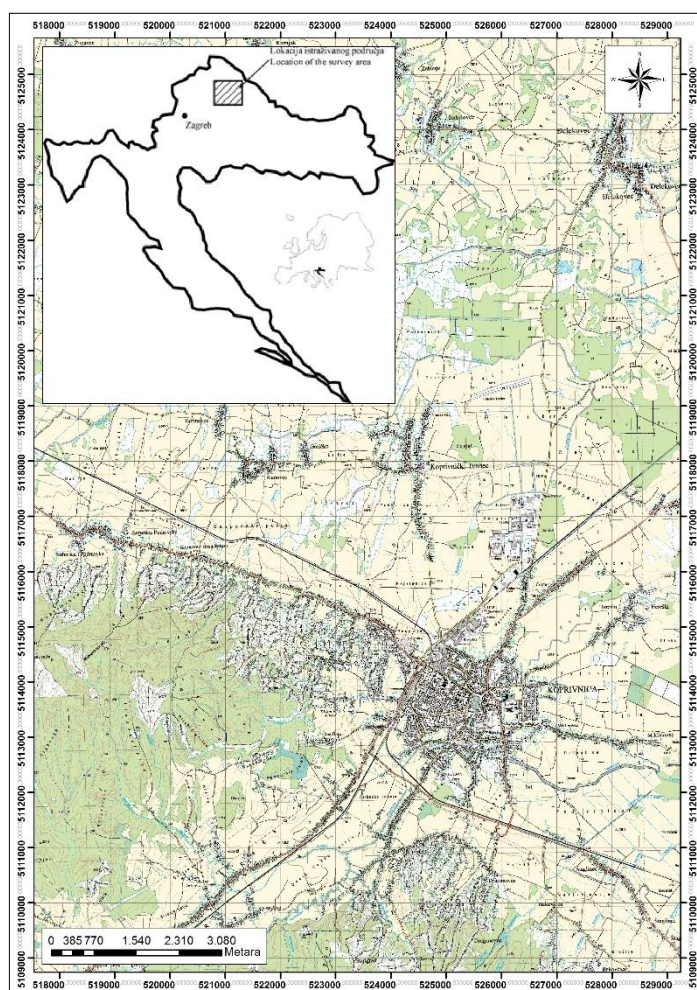
U ovom radu prikupljene su kemijske analize provedene od strane Zavoda za javno zdravstvo Koprivničko-križevačke županije i interne analize Koprivničke vode d.o.o. Detaljno su analizirani sljedeći parametri: temperatura, pH, elektrovodljivost, utrošak kalijeva permanganata, nitrati, kloridi, sulfati, kalcij, magnezij, tvrdoća, željezo i mangan. Cilj ovog rada je pomoću navedenih parametara opisati stanje kakvoće podzemne vode na crpilištu Ivanščak.

2. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istraživano područje opisano je geografskim i klimatološkim značajkama te samim crpilištem Ivanščak.

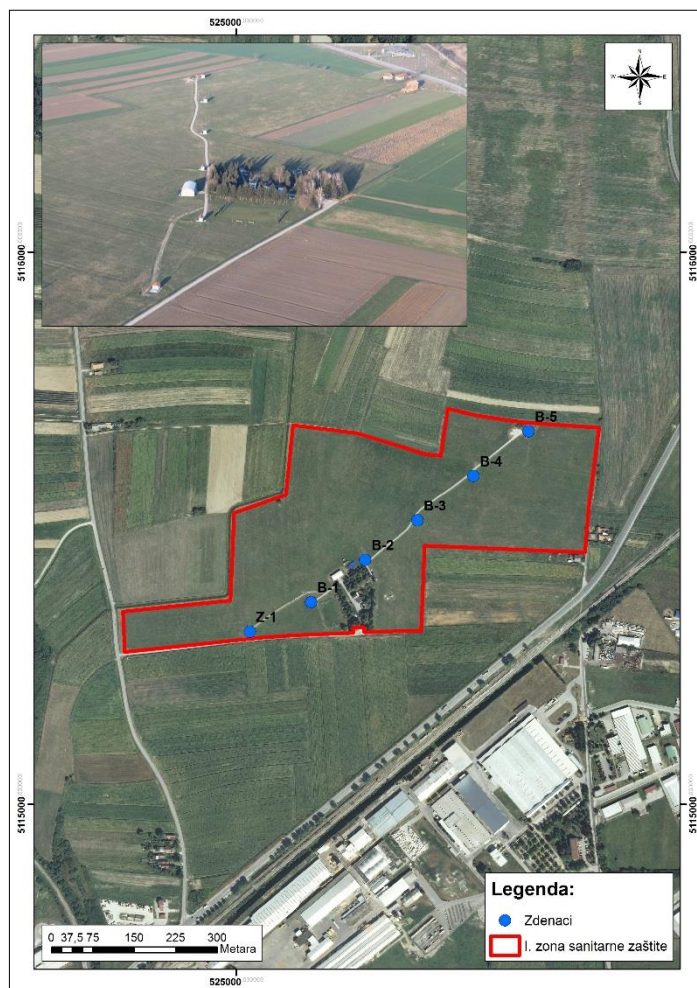
2.1. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE

Šire područje crpilišta Ivanščak pripada mikroregiji Podravske ravnice Središnje Hrvatske i Panonskoj megaregiji, a unutar nje zavalu sjeverozapadne Hrvatske (slika 2.1). Promatrano područje karakterizira agrarni krajobraz s kompleksima hrastovih šuma i poplavnim područjima. Područje Koprivničke Podravine pripada zapadnom dijelu Dravskog bazena koji se nalazi u kontaktnom prostoru između Južnog i Centralnog dijela Panonskog bazena (Duić & Urumović, 2007). Dravski bazen pretežno je zaravnjen teren s nadmorskom visinom od 115 do 135 m.



Slika 2.1 Prikaz promatranog područja na topografskoj karti.

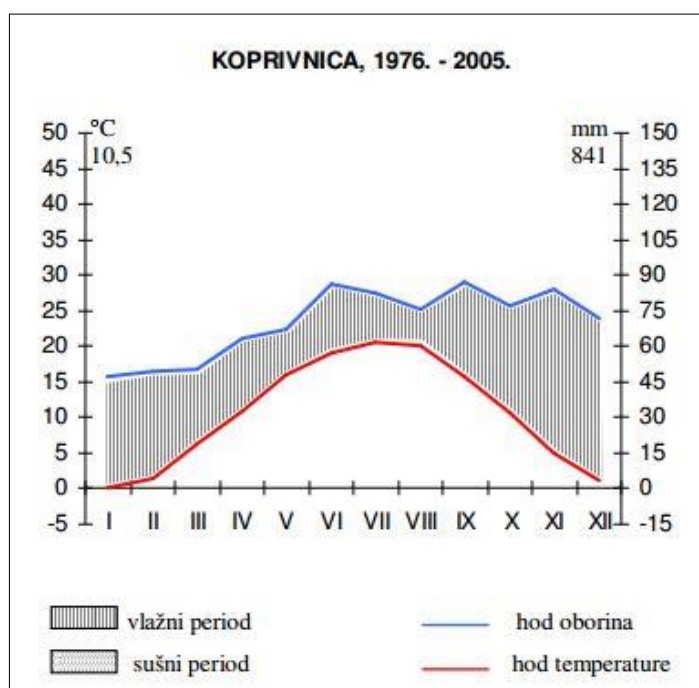
Crpilište Ivanščak nalazi se sjeverno od grada Koprivnice, između željezničke pruge Koprivnica-Botovo i ceste Koprivnica-Ivanec. Na crpilištu Ivanščak voda se crpi iz šest zdenaca (Z-1, B-1, B-2, B-3, B-4 i B-5) ukupnog kapaciteta 390 l/s (KC vode, 2017) (slika 2.2). U blizini crpilišta Ivanščak nalazi se nekoliko crpilišta, a to su Lipovec, Delovi i Torčec (prilog 1).



Slika 2.2 Prikaz crpilišta Ivanščak na digitalnoj ortofoto karti. i fotografiji iz zraka.

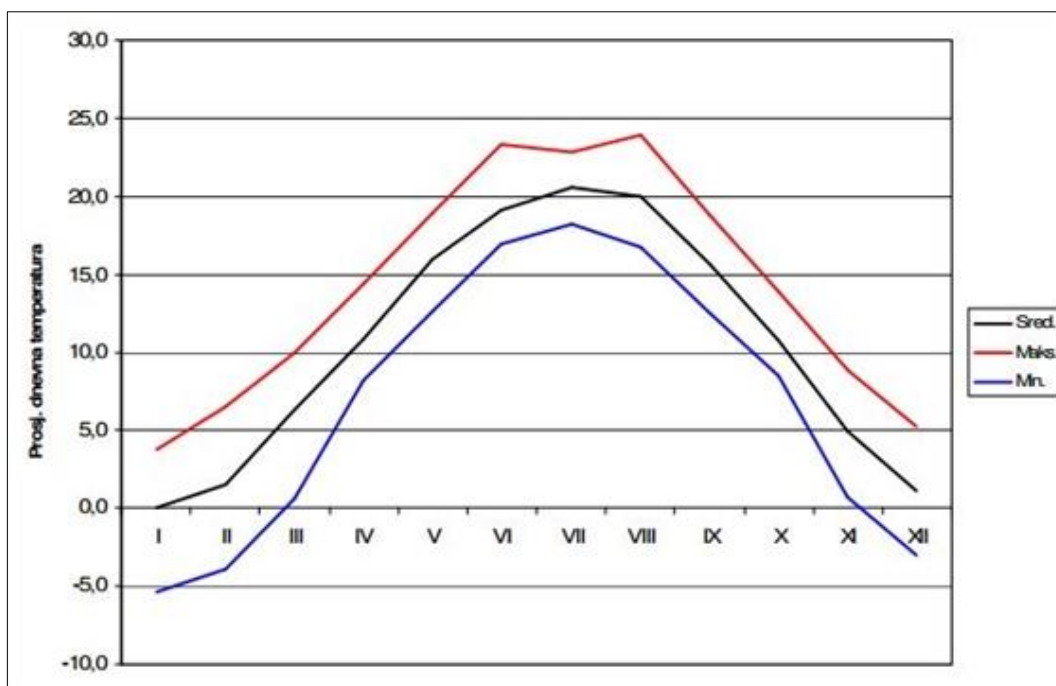
2.2. KLIMATOLOŠKE ZNAČAJKE

Za Koprivničko-križevačku županiju može se reći da spada u prijelazno područje između umjereno semihumidne i stepskoaridne panonske klimatske zone. Ovdje se osim utjecaja opće cirkulacije karakteristične za ove geografske širine, osjeća jak utjecaj niske Panonske nizine i velikog planinskog sustava Alpa i Dinarida. Područje Županije je prostor s umjereno kontinentalnom klimom s dosta izraženim ekstremnim vrijednostima pojedinih klimatskih elemenata (Dekanić et al., 2016). Klima grada Koprivnice zorno je prikazana Walterovim dijagramom na slici 2.3. Iz navedene slike vidljivo je da prosječna godišnja temperatura iznosi 10,5 °C, a godišnja količina padalina iznosi 841 mm za razdoblje od 1976.-2005. godine. Također se može uočiti da nema pojave sušnih perioda u navedenom razdoblju.



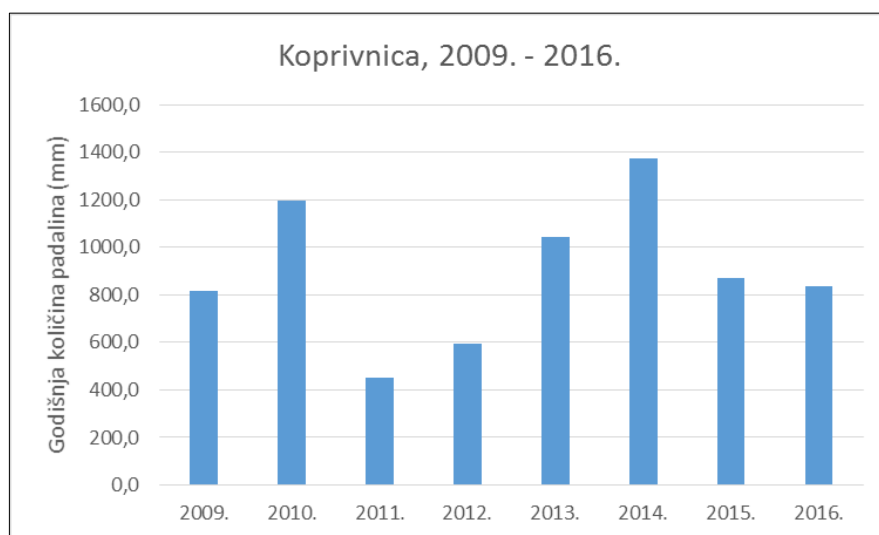
Slika 2.3 Klimatski dijagram po Walteru, Koprivnica, prosjek od 1976. do 2005. godine (Babić et al., 2008).

U Koprivničkoj Podravini su blage promjene srednje godišnje temperature zraka koja u pravilu iznosi oko 10 do 11 °C. Za prostorni raspored temperature zraka karakteristično je da je ona nešto niža uz obronke Bilogore, a nešto viša u središnjim ravničarskim predjelima. Godišnji hod temperature zraka ima oblik jednostrukog vala s maksimumom ljeti, najčešće u srpnju (Hlevnjak & Duić, 2017). Apsolutna minimalna temperatura zraka se šest mjeseci u godini nalazi ispod 0 °C. Prosječna temperatura u najhladnijem mjesecu siječnju je oko -1 °C, a u najtoplijem srpnju 20 °C (Dekanić et al., 2016). Na slici 2.4 prikazane su središnje, maksimalne i minimalne temperature zraka za grad Koprivnicu.



Slika 2.4 Prosječne dnevne temperature Koprivnice u razdoblju od 1976. do 2005. godine (Babić et al., 2008).

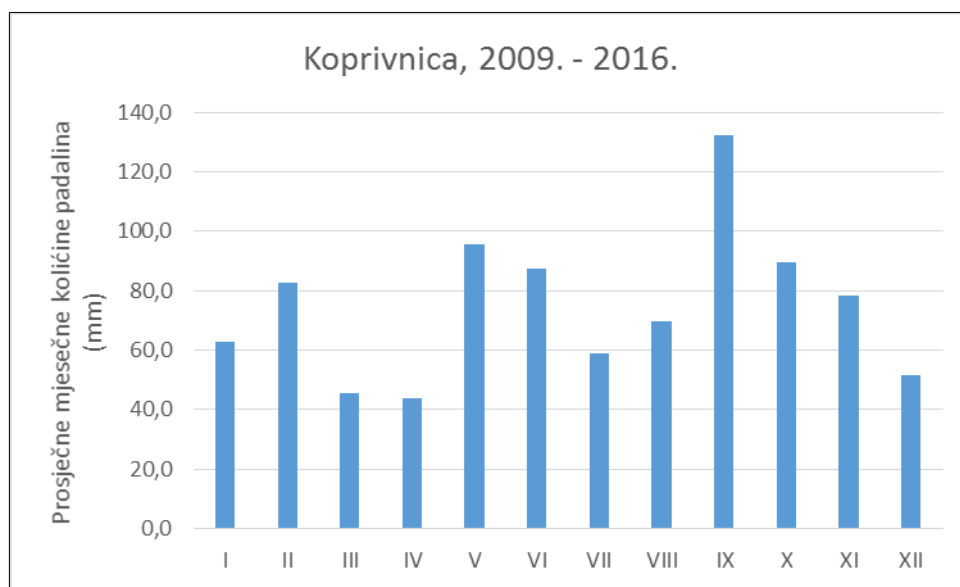
Visina srednjih godišnjih padalina se kreće od 800 mm. U rasporedu godišnjih količina padalina karakteristično je da se one smanjuju od zapada prema istoku i sjeveroistoku jer vlažne zračne mase koje dolaze s jugozapada i zapada izgube vlagu dok dođu do tog područja, a one koje dolaze sa sjeveroistoka, iz unutrašnjosti, suhe su pa ne daju obilne padaline. Na slici 2.5 prikazan je godišnji hod količina padalina za razdoblje 2009.-2016. godine.



Slika 2.5 Godišnje padaline na meteorološkoj postaji u Koprivnici za razdoblje 2009.-2016. godine

Na dijagramu ukupnih godišnjih padalina može se zapaziti vrlo izražena neujednačenost ukupnih padalina. One se kreću od minimalnih 453 mm u 2011. godini do 1374 mm u 2014. godini.

U godišnjem hodu padalina za razdoblje od 2009.-2016. pojavljuju se dva maksimuma u svibnju i rujnu (slika 2.6). Ovaj prvi maksimum povezan je s utjecajem kontinentalnoga pluviometrijskoga režima, dok jesenski maksimum nastaje pod utjecajem maritimnoga pluviometrijskog režima. Jesenski, rujanski maksimum ipak je izraženiji. Glavni minimumi nastupaju u ranom proljeću i ranoj zimi.



Slika 2.6 Prosječne mjesečne padaline na meteorološkoj postaji u Koprivnici za razdoblje 2009.-2016. godine.

Relativna vlaga zraka je u skladu s toplinskim osobinama kraja. Maksimalna vlažnost je u studenom i prosincu, a minimalna u travnju i svibnju. Prosječna godišnja relativna vlaga iznosi 82%. Područja bliže rijeci Dravi imaju veću vlažnost. Magle se pojavljuju najčešće u jesenjim i zimskim mjesecima. Pojava tuče vezana je za vegetacijsko razdoblje (Dekanić et al., 2016).

2.3. CRPILIŠTE IVANŠČAK

Istraživanja na crpilištu Ivanščak potaknuta su povoljnim rezultatima na izvedbi zdenaca za okolne industrijske pogone. Nakon najnovijih istraživanja može se zaključiti da je mjesto crpilišta povoljno izabrano s obzirom na kakvoću podzemne vode, izdašnost crpilišta i male udaljenosti od mjesta potrošnje. Nakon prijašnjih istraživanja na lokaciji Pri Sv. Duhu, hidrogeološka istraživanja nastavljena su 1973. godine, ali u sjevernijim nižim predjelima na lokaciji Ivanščak. Na lokaciji Ivanščak očekivana je veća dubina i debljina vodonosnika i plića razina podzemne vode (Hlevnjak et al., 2014). Izvedena su geoelektrična mjerenja (Benamatić, 1973) i tri strukturno-piezometarske bušotine SP-1, SP-2 i SP-3, te tri piezometarske bušotine P-4, P-5 i P-6. Na temelju ovih bušotina jednoznačno su utvrđene osnovne hidrogeološke značajke vodonosnika. Stoga se 1974. godine pristupa izradbi dvaju pokusno-eksploatacijskih zdenaca B-1 i B-2 (Della Marina et al., 1974; Della Marina 1976a, 1976b; Della Marina & Picek. 1977). Prva dva zdenca (B-1 i B-2) su iskopana garniturom Benoto (lavirka) uz pomoć zaštitnih cijevi promjera 1200/1000 mm, a zacijevljeni su čeličnim cijevima promjera 600 mm i mostičavim sitima, također promjera 600 mm. Zdenac B-1 bušen je do 39,0 m dubine, a na dubini od 38,0 m nabušena je glina u podini vodonosnika. Na navedenom zdencu sita su postavljena na 13,0-21,5 i 26,8-36,8 m dubine, ali je kasnije interval od 19,0-20,0 m izoliran. Zdenac B-2 je bušen do 39,5 m dubine i završava u šljunku, pa podina vodonosnika nije nabušena. Na navedenom zdencu sita su postavljena na 13,0-23,0, 26,0-30,0 i 35,0-39,0 m dubine, ali je kasnije interval od 38,0-39,0 m izoliran (Hlevnjak et al., 2014).

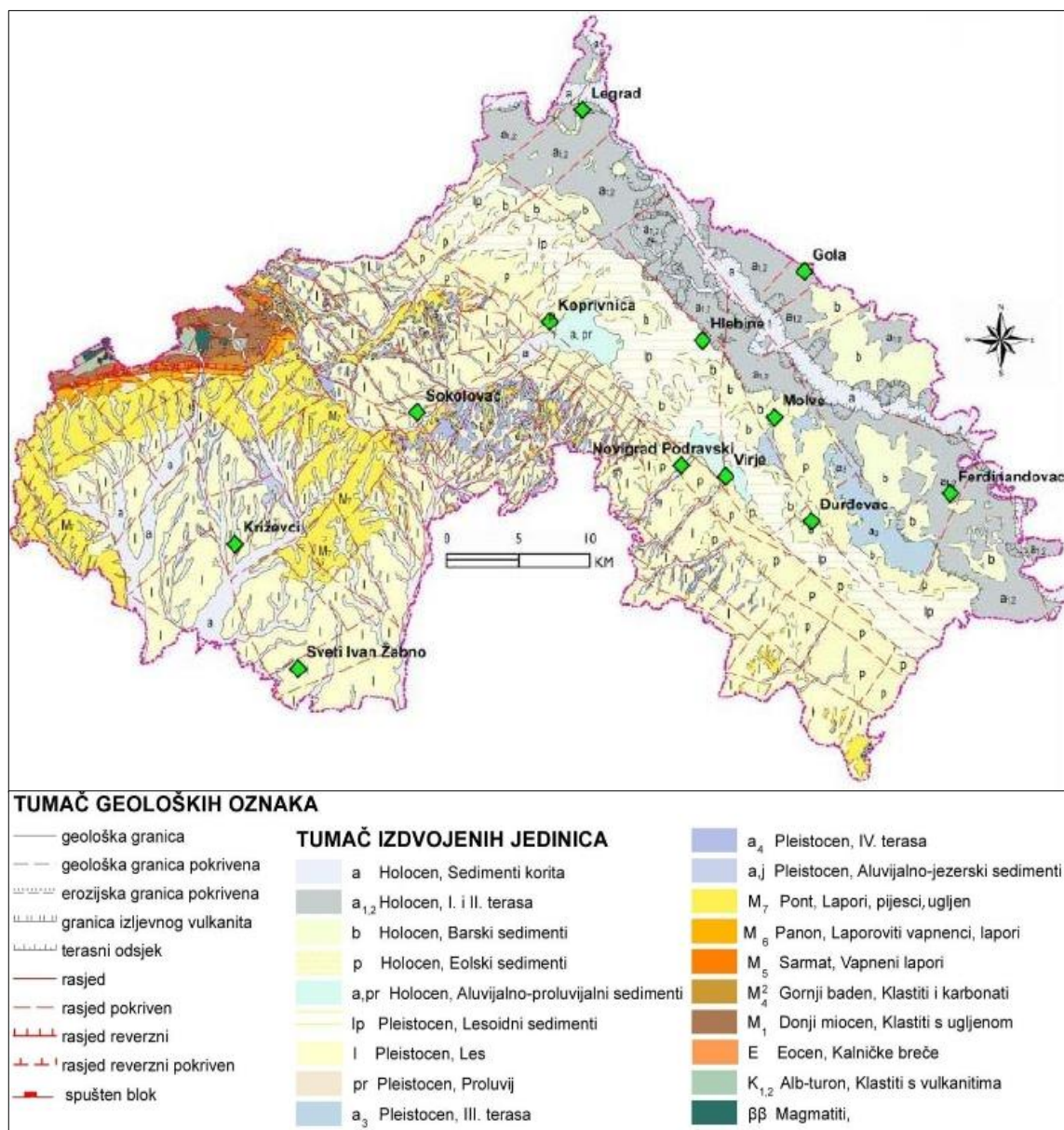
Zdenac B-3 izveden je 1977. godine, a zdenci B-4 i B-5 izvedeni su 1985. godine. Svi su približno istih tehničkih karakteristika kao i zdenci B-1 i B-2. Sve zdence izvela je Geotehnika iz Zagreba (Hlevnjak et al., 2014).

Zdenac B-0 izvela je Geofizika iz Zagreba 1985. godine u okviru istraživanja koja su obuhvatila izradbu jedne strukturne bušotine (S-1) dubine 50 m i 5 piezometarskih bušotina P-1A, P-2A, P-3A, P-4A i P-5A položenih u tri kraka od zdenca. Zdenac B-0 izbušen je reverznom metodom. Promjer bušenja iznosio je 1100 mm, a dubina bušenja 40 m. Zacjevljenje se sastoji od čeličnih cijevi promjera 800 mm i mostićavih sita promjera 800 mm od 12,5-18,5 i od 22,5-32,5 m, a šljunčani zasip je 4-8 mm. Zdenac nije potpuno osvojen i došlo je do pojave ozbiljnijeg pjeskarenja. Zbog toga je tijekom 1994. godine načinjeno ponovno osvajanje zdenca pri kojemu je ustvrđeno intenzivno pjeskarenje navedenog zdenca posebice u gornjem situ. Stoga je odlučeno da se izvede novi zdenac u blizini zdenca B-0 (Hlevnjak et al., 2014).

Šesti zdenac Z-1 načinjen je kao zamjenski zdenac, umjesto B-0. Smješten je oko 10 m južno od zdenca B-0. Zdenac je iskopan lavirajućom garniturom sa zaštitnim cijevima promjera 1000 mm do 37,2 m dubine. Ugrađeno je zacjevljenje promjera 600 mm s čeličnim cijevima i sitom Johnson otvora 2 mm na dubini od 21,8-35,8 m sa šljunčanim zasipom od 2-4 mm (Urumović & Hlevnjak, 2005).

3. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Područje Koprivničko-križevačke županije izgrađuju naslage koje pripadaju mezozojskoj i kenozojskoj eri. Od mezozojskih zastupljene su samo stijene iz razdoblja krede, a nalaze se na centralnom dijelu Kalničkog gorja. U preostalom dijelu županije nalaze se kenozojske naslage (Kruk & Dedić, 2014) (slika 3.1).



Slika 3.1 Geološka karta Koprivničko-križevačke županije (Kruk & Dedić, 2014).

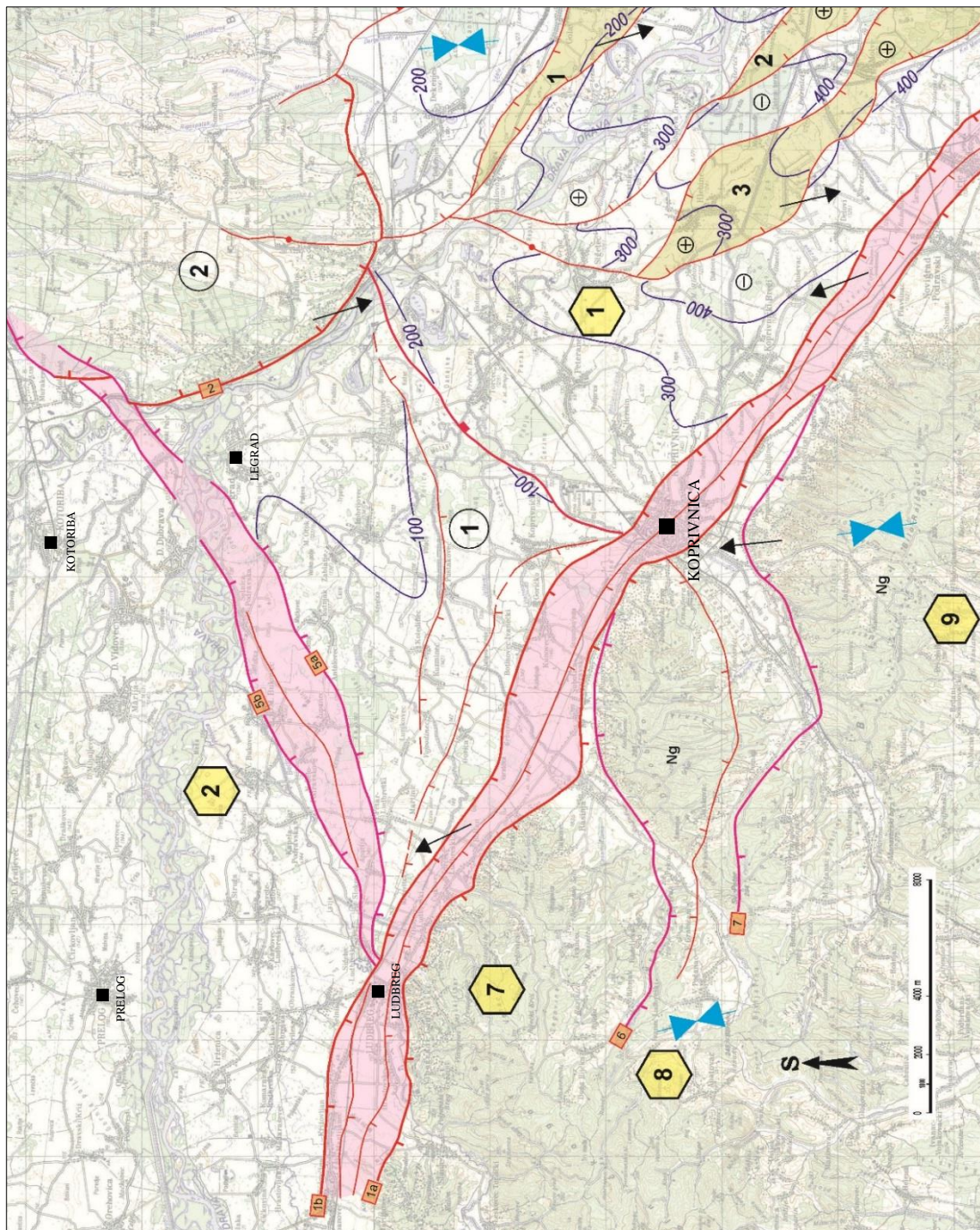
Prostor Koprivničke Podravine pripada zapadnom dijelu Dravskog bazena koji se nalazi u kontaktnom prostoru između Južnog i Centralnog dijela Panonskog bazena (Duić & Urumović, 2007). Geotektonski gledano područje Koprivničke podravine pripada rubnom dijelu Dravske depresije i Legradskog praga koji odvaja Mursku i Dravsku depresiju (Hlevnjak et al., 2014). Dravski bazen proteže se između Koprivnice i Vukovara te je ključna strukturna jedinica u promatranom području. Pružanje mu je ZSZ-III do SZ-II. U strukturnom smislu Dravski bazen se nalazi između Dravskog rasjeda i rasjeda Meczek-Villany-Baranja. Uzdignute strukture Legrad i Nagykanizsa predstavljaju zapadnu granicu. (Duić & Urumović, 2007).

Na slici 3.2 prikazan je recentni strukturno tektonski sklop u području Legradskog praga, a pripadajuća legenda na slici 3.3.

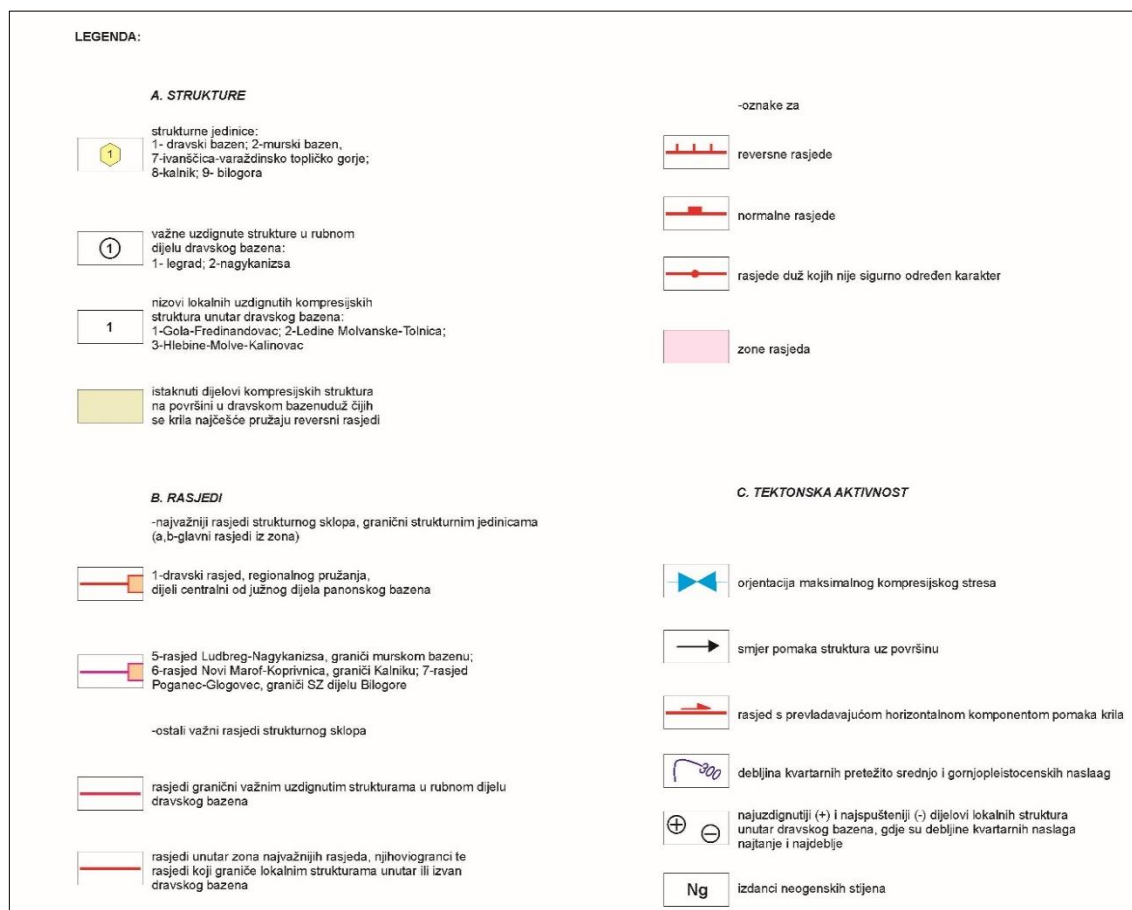
Presudnu ulogu u genezi kvartarnih taložina u promatranom prostoru odigrali su klimatski uvjeti i sinsedimentacijski tektonski pokreti. Izmjena glacijalnih i interglacijalnih doba uvjetovala je količinu i vrste sedimenata. Interglaciali su karakteristični po obilju vode koja je donosila ogromne količine krupnoklastičnih taložina (šljunci i pijesci) i odlagala ih u prostranim nizinskim područjima. Istovremeno tonjenje depresije uz rubne rasjede uvjetuje znatnu debljinu aluvija. Tijekom glacijala glavnina vode je u prostranom ledenom pokrovu što dovodi do osiromašenja hidrografske mreže. U svezi s time u depresijama se odlažu sedimenti sitnijeg zrna (prah, glina, sitnozrnasti pijesci). Ovakva ciklička sedimentacija tijekom kvartara rezultirala je velikom debljinom šljunčanih slojeva. U područjima stalne subsidencije oni su kompletno sačuvani (Dravska depresija), dok u područjima koja su bila u izdizanju nedostaje njihov znatan dio (Legradski prag) (Hlevnjak et al., 2014).

Karakterističan geološki stup može se vidjeti na profilu priloga 2:

- U podini vodonosnog sloja nalazi se siltozni prah u kojemu se mjestimice pojavljuje nešto treseta i ispod kojega dolazi izmjena praha, gline, sitnozrnog pijeska s lećama i proslojcima treseta ukazujući na močvarnu sredinu;
- Vodonosni sloj debljine 30 m je izgrađen od krupnoklastičnih taložina s izraženim tragovima oksidacije. Prevladavaju žućkastosmeđi i sivosmeđi šljunci i pjeskoviti šljunci. Podređeno dolaze leće pijeska ili šljunci obogaćeni sa sitnijim pijescima;
- Krovina vodonosnika debljine 5-10 m je izgrađena od žućkastog do žućkastosmeđeg praha, i prašinaste gline koji su mjestimice pjeskoviti.



Slika 3.2 Recentni strukturno-tektonski sklop u području Legradskog praga (Duić & Urumović, 2007).



Slika 3.3 Legenda za recentni strukturno-tektonski sklop u području Legradskog praga (Duić & Urumović, 2007).

Opće hidrološke značajke proizlaze iz širega geografskog položaja i geomorfoloških značajki ovoga područja. U tom je smislu znakovito da se crpilište Ivanščak nalazi na jugoistočnoj periferiji Koprivničkog područja, dakle u rubnom području pridravske ravnice i to u vrlo blago nagnutom, ocjeditom predjelu koje se naslanja na pristranke Bilogore (Hlevnjak & Duić, 2017).

U regionalnoj hidrografiji dominantna je rijeka Drava koja teče sjevernim predjelima. Njen maksimalni protok u toku kroz srednju Podravinu iznosi oko 2500 m³/s, a srednji je oko 600 m³/s. Za njen režim karakteristični su visoki protoci u toplom dijelu godine, a najveći su obično u lipnju, dok su niski u hladnom dijelu godine s minimumom u siječnju što predočava ledenjačko-snežni režim protoka (Hlevnjak & Duić, 2017).

U širem istraživanom području glavni recipijenti su Gliboki potok i kanal Bistra koji teku središnjim predjelima pridravske ravnice i dijagonalno se približavaju rijeci Dravi. U takvim uvjetima vodostaji ovih kanala izražavaju i razine osnovnoga toka podzemnih voda. Razine podzemnih voda kao i otjecanje površinskih recipijenata uvjetovani su vodostajima Drave i spleta kanala koji se nizvodno ulijevaju u Dravu (Hlevnjak & Duić, 2017).

Najbliža vodomjerna postaja na Dravi je u Botovu. Kota mjerne „0“ je na 121,55 m n.m. Maksimalni vodostaji su koncem proljeća i početkom ljeta, a glavni minimumi su zimi, u siječnju i veljači, što je karakteristično obilježje Drave. Međutim u sušnim godinama pojavljuje se i sekundarni minimum koncem ljeta (Hlevnjak & Duić, 2017).

Na podzemne vode dominantan je učinak osnovnih tokova, dakle minimalnih vodostaja Drave i drenirajućih kanala u njenome zaobalju, no na njima nema organiziranih mjerenja vodostaja u ovome području (Hlevnjak & Duić, 2017).

Prema hidrogeološkim značajkama istraživano područje može se podijeliti na:

- Stijene starije od tercijara – na Kalniku se nalaze stijene građene od vapnenca kredne starosti. Prostor ne karakteriziraju značajniji vodonosnici. Prisutan je veći broj izvora vode, od kojih je najpoznatiji Apatovac;
- Tercijarno-kvartarni sedimentni kompleks – podudara se s brežuljkastim područjem Prigorja i Bilogore. Na Bilogori se nalaze stijene primarne poroznosti, s vrlo čestim izmjenama vodopropusnih (pijesci, pješčenjaci, vapnenci) i slabo propusnih sedimenata (gline, lapori). Te naslage su slabe izdašnosti, tako da se kapaciteti izvora kreću od 0,1 do 10 l/s.
- Kvartarni vodonosni slojevi ravničarskih predjela – prostor dravske doline predstavlja najznačajniju hidrogeološku jedinicu na promatranom području. Litološka građa dravske potoline, te klimatski i hidrološki uvjeti omogućuju akumulaciju značajnih količina podzemne vode.

S obzirom na debljinu aluvijalnih nanosa šljunka u području Koprivničke Podravine razlikujemo predjel Legradskog praga, na kojemu se nalazi i crpilište Ivanščak i područje koje se nalazi nizvodno, odnosno jugoistočno od istoga. U području praga koji ima pružanje JZ-SI (od Koprivnice do Zakanyja u Mađarskoj) došlo je do značajnog izdizanja sedimenata u podlozi aluvijalnog nanosa tako da je aluvij puno tanji i litološki jednoličniji nego u području dravske ravnice nizvodno od istoga. U prostoru nizvodno od spomenutog rasjeda dolazi do naglog zadebljanja aluvijalnih taložina sa značajnijom lateralnom i vertikalnom izmjenom osnovnih litotipova (šljunak, pijesak, prah, glina). Tako im debljina u području Hlebina i Molvi doseže i preko 200 metara (Hlevnjak et al., 2014).

U hidrogeološkom smislu, mogu se razlikovati dva vodonosnika, prvi plići i drugi dublji. Oni su međusobno odvojeni relativno kontinuiranim „slojem“ sitnozrnatih taložina (gline, prah, pijesak), koji je prikazan na korelacijskim profilima (prilog 2 i 3).

U području Legradskog praga debljina aluvija iznosi do 50-tak metara i odlikuje se relativno jednoličnom litologijom. Prevladavaju krupnozrnati šljunci s pijeskom, a podređeno dolaze leće pijeska bez značajnijeg lateralnog protezanja. U hidrogeološkom smislu ovdje postoji jedan jasno definirani vodonosnik (Hlevnjak et al., 2014).

Prevladavajući regionalni smjer gibanja podzemnih voda je od sjeverozapada prema jugoistoku, pri čemu se razina podzemne vode na crpilištu Ivanščak kreće oko 123 m n.m., dok je prirodna razina prije počeka crpljenja bila oko 5 m viša. Podzemne vode u promatranom području dominantno se obnavljaju padalinama. Površinski tokovi ovdje predstavljaju najnižu piezometarsku razinu i prema tome predstavljaju mjesta pražnjenja vodonosnika u prirodnim uvjetima. Specifični iznos infiltracije oborina relativno je mali, ali s obzirom da se radi o infiltraciji na velikim površinama, ukupni iznos infiltracije je vrlo značajan. Infiltracija padalina do sada nije neposredno istraživana u ovim predjelima. Prema matematičkom modeliranju toka podzemne vode na crpilištu Ivanščak (Urumović et al., 1996), proizlazi da se dugoročno održavanje registriranih hidrauličkih odnosa najbolje održava uz prosječnu infiltraciju padalina od 0,096 do 0,24 m godišnje, a što iznosi oko 11 do 28 % godišnjih padalina.

Na crpilištu Ivanščak zahvaćene su podzemne vode iz otvorenog vodonosnika formiranog u kvartarnim nanosima šljunka i pijeska. Šljunčani sloj nalazi se na dubini od oko 8 do oko 40 m i pokriven je slojem praha i prašinaste gline koji doseže do površine terena. U vrijeme izvedbe prvih zdenaca vodna ploha vodonosnika bila je na dubini od oko 9 m (Duić & Urumović, 2007).

Na lokacijama većih vodocrpilišta (Ivanščak, Delovi i Torčec) i u područjima izgrađenih i planiranih vodnih stuba provedene su prve procjene vrijednosti hidrogeoloških parametara. Radilo se o dugotrajnim crpljenjima na pokusnom polju ili aktivnom crpilištu. Prema ranije načinjenim studijama u tablici 3.1 prikazane su karakteristične vrijednosti hidrauličke vodljivosti i efektivne poroznosti (Hlevnjak et al., 2014).

Tablica 3.1 Karakteristične vrijednosti hidrauličke vodljivosti i efektivne poroznosti na lokacijama većih vodocrpilišta (Ivanščak, Delovi i Torčec) (Hlevnjak et al., 2014).

| | Izvor | Autori | Hidraulička vodljivost mm/s | | Efektivna poroznost |
|---|---|--|-----------------------------|-----|---------------------|
| 1 | Studija utjecaja crpilišta Delovi na nivo podzemnih voda. | Gjetvaj, G. & Pollak, Z., 1991 | 2,3 | | 0,044 |
| 2 | Studija hidrogeoloških odnosa prilivnog područja i prijedlog zaštitnih zona te mjere tehničke zaštite crpilišta – Delovi. | Pollak, Z., Gjetvaj, G. & Bareza, V., 1987. | 1,0 | | 0,25 |
| 3 | Vodozahvatni radovi Delovi, Bunari B-4 i B-5 | Capar, A., 1985a. | 2,04-2,64 | | |
| 4 | Vodoistražni radovi na lokaciji tvornice celuloze Torčec. | Ortolan, Ž., Pollak, Z., Despotović, N., Jović, V. & Andrić, M., 1975./76. | 1,0 | | 0,1 |
| 5 | Procjena eksploatacijskih rezervi i zaštitne zone crpilišta „Ivanščak“-Koprivnica | Bošković, D. & Klanjec, D., 1986. | 1,4 | | 0,15 |
| 6 | Vodoopskrbni sustav Koprivnice. Izvedba zdenca Z-1 na crpilištu Ivanščak | Urumović, K. & Hlevnjak, B., 1995. | 1,1 | | 0,19 |
| 7 | Vodoopskrbni sustav Koprivnice. Hidrogeološka studija razvitka crpilišta Ivanščak. | Urumović, K., Hlevnjak, B. & Gold, H., 1996. | 1,2 | | 0,10 |
| 8 | Vodoopskrbni sustav Koprivnice crpilište Ivanščak, Dopuna elaborata o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta | Hlevnjak, B., Posavec, K., Duić, Ž. & Ferić, P., 2014. | Nestacionarni uvjeti | 2,4 | |
| | | | Stacionarni uvjeti | 1,1 | |

4. KAKVOĆA PODZEMNE VODE

Najstariji pouzdani podaci o kemizmu podzemne vode na crpilištu Ivanščak s kojima raspolažemo su rezultati kemijskih analiza vode načinjeni prigodom pokusnoga crpljenja zdenca B-0 (Capar, 1985b). Tom prigodom načinjene su tri kemijske analize (tablica 4.1). Dvije pri prvom crpljenju provedenom neposredno nakon izvedbe zdenca u ožujku 1985, a treća prigodom ponovljenog pokusnoga crpljenja mjesec dana kasnije. U tim analizama registriran je sadržaj nitrata između 9 i 13 mg NO₃/l, što je svakako više od prirodnog sadržaja. Dakle već tada je izražen antropogeni utjecaj jer je prirodni sadržaj nitrata vjerojatno višestruko niži. Ovdje treba istaknuti da podaci o sadržaju nitrata u vrijeme izvedbe prvih zdenaca tijekom 1974. godine nisu dostupni.

Tablica 4.1 Kemijske analize vode iz zdenaca B-0 i Z-1 (Hlevnjak et al., 2014).

| Lokacija | Zdenac B-0 | | | Z-1 |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|
| Datum uzorkovanja | 10.3.1985. | 12.3.1985 | 27.4.1985 | 4.3.1995. |
| pH | 7,0 | 7,1 | 7,2 | 7,6 |
| Temperatura vode °C | 13 | 13 | | |
| Isparni ostatak mg/l | | 352,2 | 333,2 | 378 |
| Elektrovodljivost µS/cm | | | | 512 |
| Slobodni amonijak mg NH ₃ /l | 0 | 0 | 0 | 0,084 |
| Nitriti mg NO ₂ /l | 0 | 0 | 0 | 0,013 |
| Nitrati mg NO ₃ /l | 9,7 | 9,7 | 13,0 | 20,1 |
| Utrošak KMnO ₄ /L | 17,4 | 1,2 | 3,6 | 3,9 |
| Željezo mg Fe/l | 0 | 0 | 0 | 0,064 |
| Alkalitet mg HCO ₃ /l | | 317,2 | 335,5 | |
| Sulfati mg SO ₄ /l | | 20,5 | 10,0 | |
| Kloridi mg Cl/l | 24,0 | 16,0 | 18,0 | 12 |
| Ukupna tvrdoća mg CaCO ₃ /l | 301,4 | 284,1 | 2840,0 | 15,97 |
| Karbonatna tvrdoća mg CaCO ₃ /l | | 260,0 | 275,0 | |
| Stalna tvrdoća mg CaCO ₃ /l | | 24,1 | 9,0 | |
| Kalcijeva tvrdoća mg CaCO ₃ /l | | 92,4 | 95,9 | |
| Magnezijeva tvrdoća mg CaCO ₃ /l | | 48,2 | 45,3 | |

Analiza sadržaja nitrata u podzemnoj vodi načinjena je početkom 1991. godine u sklopu istraživanja novih lokacija za razvitak crpilišta. Tada su načinjene istraživačko piezometarske bušotine uzvodno od crpilišta Ivanščak, na lokacijama u Grbaševcu i Kuzmincu. Pritom je na lokaciji u Grbaševcu ostvareno piezometarsko gnijezdo, jer je nabušen proslojak gline, pa je piezometrom GP-1 (Grp-1) zacijevljen donji dio vodonosnika, a piezometrom GP-1A (Grp-1A) gornji dio vodonosnika. Za piezometar u Kuzmincu to nije bilo potrebno jer je šljunčani vodonosnik na tom mjestu relativno homogen. Kemijske analize vode iz ovih piezometara te ranije izvedenog piezometra SB-1 smještenoga južno od Pustakovca načinjene su koncem siječnja 1991. godine (tablica 4.2). Zanimljivo je da je sadržaj nitrata manji 4 mg NO₃/l (Hlevnjak & Duić, 2017).

Tablica 4.2 Kemijske analize vode iz piezometarskih bušotina u zapadnom i sjeverozapadnom okružju crpilišta Ivanščak (Hlevnjak et al., 2014).

| Lokacija | Grbaševac | Grbaševac | Kuzminec | Pustakovec |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| Objekt | GP-1 | GP-1A | KP-1 | SB-1 |
| Datum uzorkovanja | 24.1.1991 | 24.1.1991 | 24.1.1991 | 24.1.1991 |
| pH | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,3 |
| Elektrovodljivost $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 507 | 450 | 562 | 485 |
| Slobodni amonijak mg NH ₃ /l | 0,81 | 1,09 | 0,46 | 0,84 |
| Nitriti mg NO ₂ /l | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 |
| Nitrati mg NO ₃ /l | 3,23 | 1,46 | 0,53 | 1,37 |
| Utrošak mg KMnO ₄ /l | 6,0 | 4,2 | 5,1 | 6,6 |
| Željezo mg Fe/l | 2,5 | 3,9 | 0,70 | 5,9 |
| Mangan mg Mn/l | 0,16 | 0,22 | 0,14 | 0,19 |
| Kisik mg O ₂ /l | 2,3 | 2,0 | 2,3 | 3,5 |

Provedene analize pokrenule su pitanje distribucije sadržaja nitrata u okolini crpilišta Ivanščak, odnosno smjerova glavnih izvora onečišćenja podzemnih voda nitratima unutar njegovoga priljevnog područja. Podaci o sustavnom i kontinuiranom mjerenju kakvoće vode na samome crpilištu Ivanščak postoje od 1996. godine (Hlevnjak & Duić, 2017).

Za prikaz kakvoće podzemne vode na užem i širem području crpilišta Ivanščak prikupljene su analize provedene od strane Zavoda za javno zdravstvo Koprivničko-križevačke županije i interne analize Koprivničkih voda d.o.o. Analize su provedene na (prilog 4):

- Zdencima Z-1, B-1, B-2, B-3, B-4 i B-5 crpilišta Ivanščak;
- Piezometrima P-8, P-11 i P-12 u neposrednoj okolini crpilišta Ivanščak;
- Piezometrima Grp-1, Grp-1A, KP-1, SB-1, KP-2 i KP-4 u široj okolini crpilišta Ivanščak;
- Plitkim kopanim zdencima u Dravskoj ulici (B-Dravska 31, B-Dravska 26, B-Dravska 28) i Ivanjskoj cesti (Ivanjska c 90) koji se koriste u domaćinstvu;
- Zdencima (B-BiloKalnika-Restoran 1, B-BiloKalnika-Restoran 2) u krugu pogona Bilokalnika;
- Zdencima (KTC Benzinska-VZ Križevci, KTC Benzinska-Komunalac) kraj KTC benzinskih postaja.

Na zdencima crpilišta Ivanščak provedene su analize u razdoblju od 2008. do 2017. godine, dok su prikupljeni podaci na piezometrima, plitkim kopanim zdencima koji se koriste u domaćinstvu, zdencima u krugu pogona Bilokalnika i kraj KTC benzinskih postaja u periodu od 1992. do 2017. godine.

U navedenim zdencima, piezometrima i kopanim zdencima analizirati će se sljedeći parametri: temperatura, mutnoća, pH, elektrovodljivost, utrošak KMnO_4 , nitrati, kloridi, sulfati, kalcij, magnezij, tvrdoća, željezo i mangan. Njihove koncentracije će se analizirati u odnosu na maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013)

4.1. TEMPERATURA PODZEMNE VODE

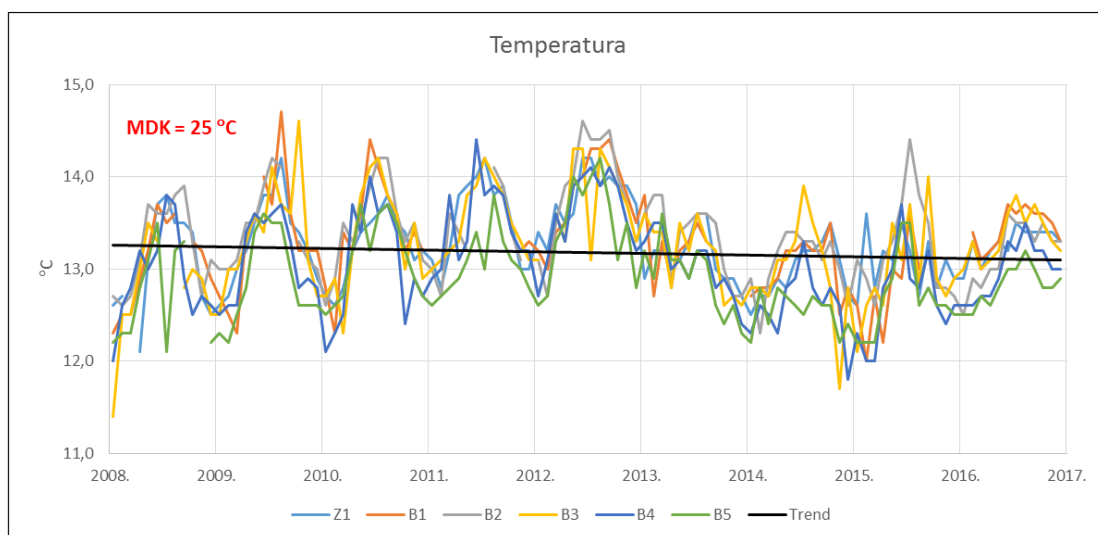
Temperatura podzemnih voda varira u širokom rasponu ovisno o geološkoj strukturi, fiziografskim uvjetima i režimu napajanja. Izražava se u stupnjevima Celzija ($^{\circ}\text{C}$).

Temperatura nije kemijska nego termodinamička značajka sustava. Mnoga kemijska svojstva (kao što su topljivost plinova i minerala) osjetljiva su na temperaturu. Stoga za interpretaciju rezultata kemijske analize treba točno odrediti temperaturu vode u vodonosniku, jer o njoj ovise mnoge reakcije između vode, krutine i otopljenih plinova. Temperaturu bi trebalo mjeriti na licu mjesta, u prvom redu u bušotini, ili u protočnom mjernom sustavu koji dodir s atmosferom svodi na najmanju moguću mjeru, a time sprečava izjednačavanje s uvjetima na površini zemlje (Halle, 2004).

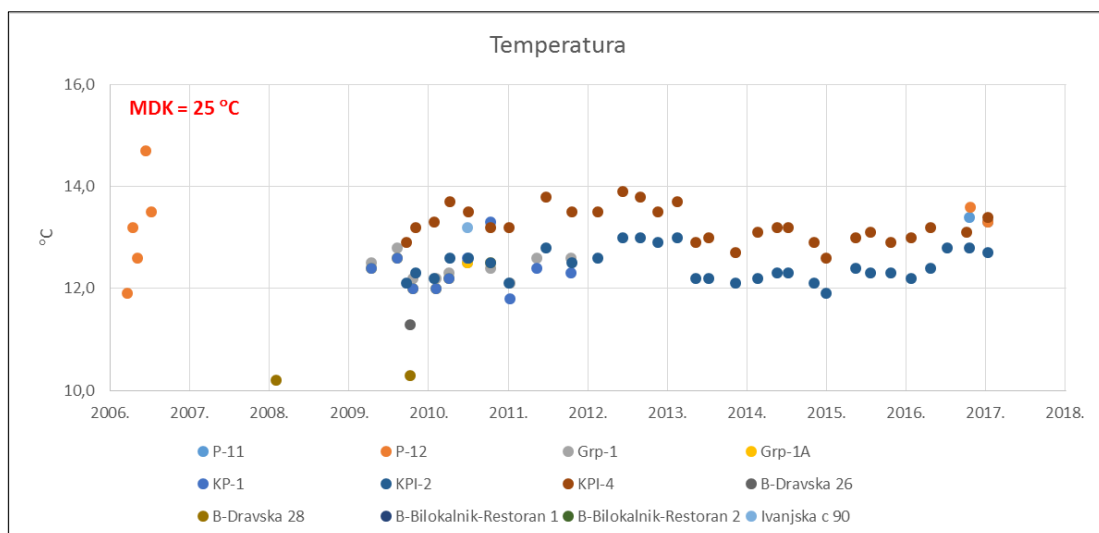
Temperatura od 7°C do 11°C čini pitku vodu osvježavajućom, a temperatura od 35°C do 37°C, tj. temperatura bliska temperaturi ljudskog tijela je najcjenjenija i koristi se u medicinske potrebe (balneološke). Vode s temperaturom koja premašuje temperaturu ljudskog tijela (37°C) poznate su kao termalne vode:

- 37°C do 42°C – vruće (termalne) vode;
- 42°C do 100°C – vrlo vruće (supertermalne) vode;
- >100°C pregrijane vode.

Redovite analize temperature provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.1 prikazane su vrijednosti temperature po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o temperaturi podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.2.



Slika 4.1 Vrijednosti temperature podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

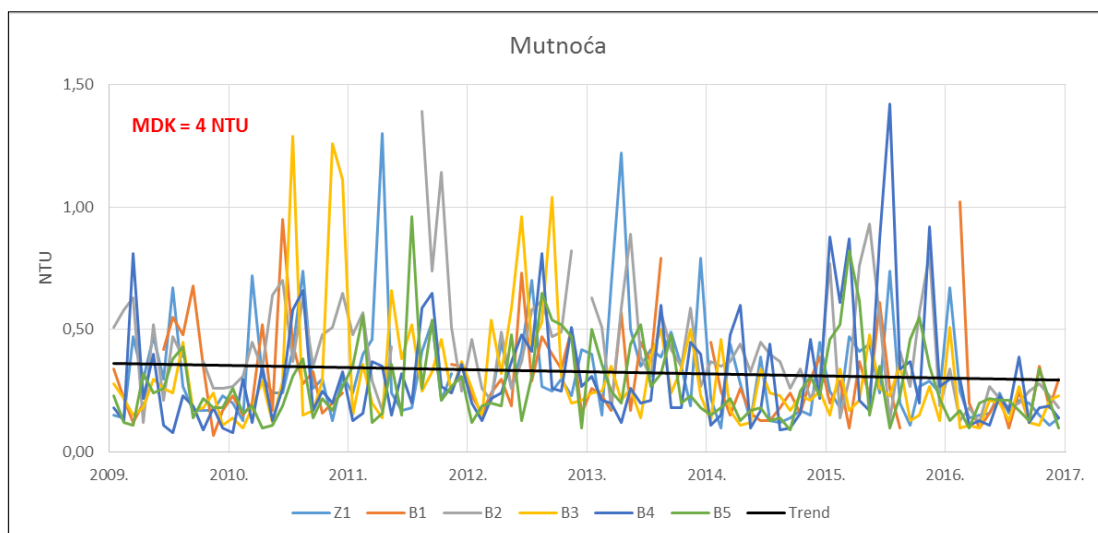


Slika 4.2 Vrijednosti temperature podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

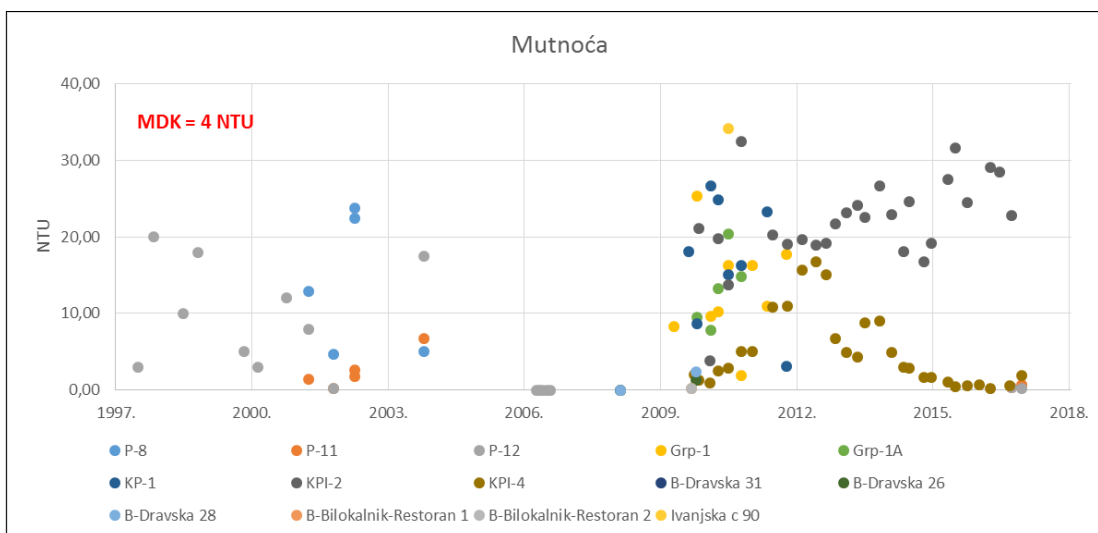
4.2. MUTNOĆA PODZEMNE VODE

Mutnoća vode je optičko svojstvo koje uzrokuje raspršivanje i apsorpciju svjetla, a ne transmisiju. Raspršivanje svjetlosti koja prolazi kroz tekućinu je primarno posljedica krutih tvari otopljenih u vodi. Što je veća zamućenost, to je veća količina raspršene svjetlosti. Zbog činjenice da sve molekule u tekućini do neke granice raspršuju svjetlost, ne postoji otopina koja ima zamućenost nula (Hanna Instruments, 2017). Vrlo često voda izvire mutna, pogotovo u kišnom razdoblju. Uzrok mutnoće jest uglavnom koloidno raspršena glina ili slične tvari (Halle, 2004). Mutnoća vode se izražava u NTU (Nephelometric Turbidity Units) jedinicama.

Redovite analize mutnoće provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.3 prikazane su vrijednosti mutnoće po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2009. do 2017. godine. Podaci o mutnoći podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.4.



Slika 4.3 Vrijednosti mutnoće podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

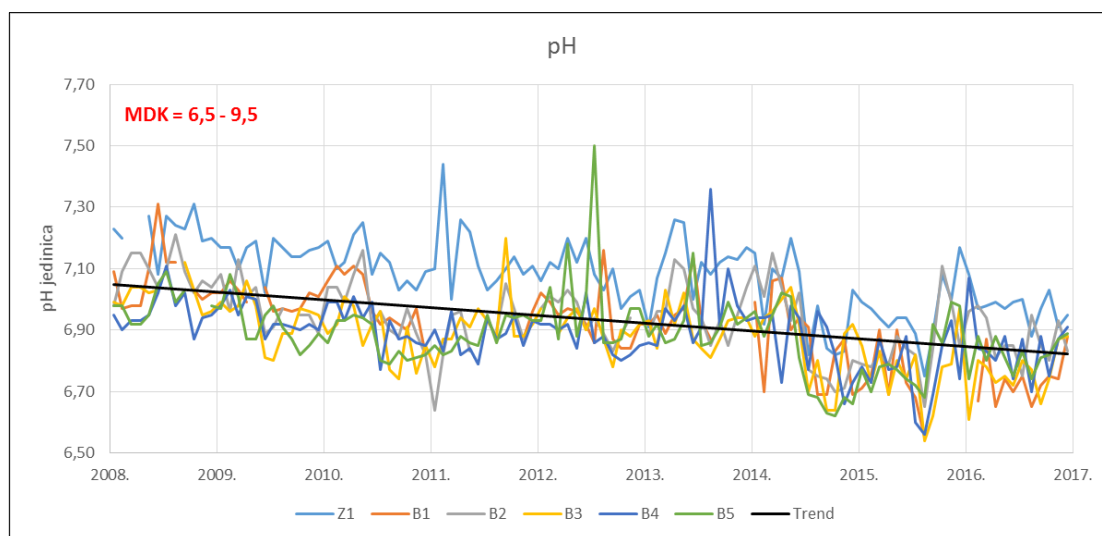


Slika 4.4 Vrijednosti mutnoće podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

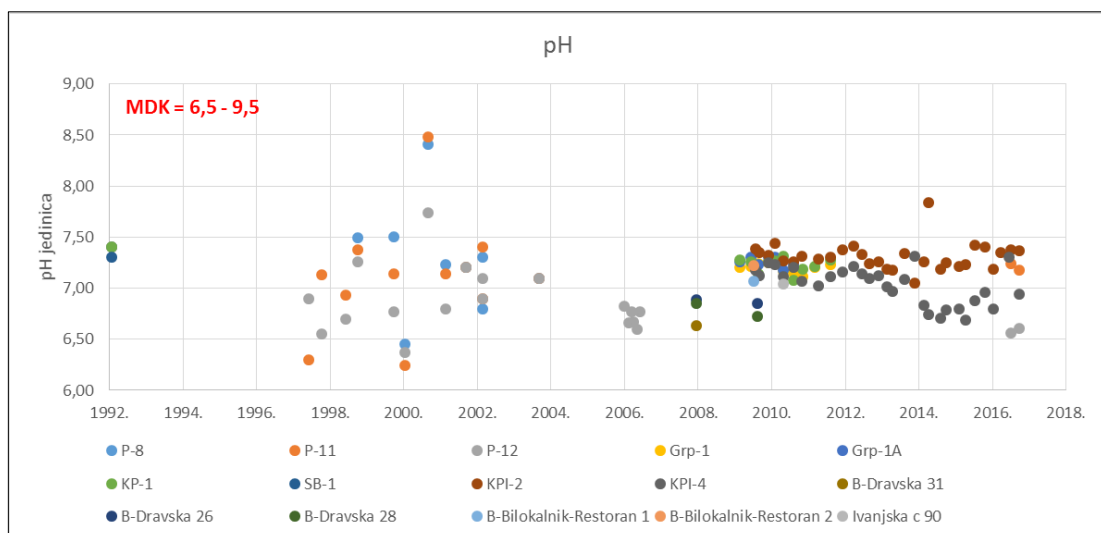
4.3. PH PODZEMNE VODE

pH vrijednost je broj koji služi kao mjera kiselosti, odnosno lužnatosti vodenih otopina, tj. pH vrijednost je negativan dekadski logaritam množinske koncentracije vodikovih iona u otopini. Pri 25°C vrijednost pH može biti između 0 i 14. U čistoj vodi i u neutralnim vodenim otopinama koncentracija vodikovih iona (H^+) i hidroksidnih iona (OH^-) jednaka je, a pri 25 °C iznosi 10^{-7} mol/dm³. Prema tome, njihov je pH prema definiciji jednak 7. Koncentracija vodikovih iona u kiselim otopinama veća je od 10^{-7} mol/dm³, pa je njihov pH manji od 7; u lužnatim je otopinama koncentracija hidroksidnih iona veća, a vodikovih iona manja od 10^{-7} mol/dm³, pa je njihov pH veći od 7. Umnožak koncentracija vodikovih i hidroksidnih iona, prema zakonima kemijske ravnoteže, konstantan je u svim vodenim otopinama. Vrijednost pH grubo se određuje s pomoću indikatorskih papira, koji kod različitih koncentracija vodikovih iona pokazuju različite boje (lakmus), a mnogo točnije s pomoću potenciometrijskog uređaja zvanoga pH metar (Hrvatska enciklopedija, 2012a). Točno mjerenje pH podzemne vode važno je, jer mnogi procesi u otopini (npr. kompleksiranje, interakcija između vode i stijene, topljivost minerala i svojstva adsorpcije, topljivost plinova i biokemijske reakcije) ovise o pH. pH otopine uglavnom određuju karbonati, ali se može osjetno promijeniti izlaganjem vode površinskim uvjetima i uravnoteženjem s atmosferskim tlakom CO₂ (Halle, 2004).

Redovite analize pH provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.5 prikazane su vrijednosti pH po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o pH podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.6.



Slika 4.5 Vrijednosti pH podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.



Slika 4.6 Vrijednosti pH podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

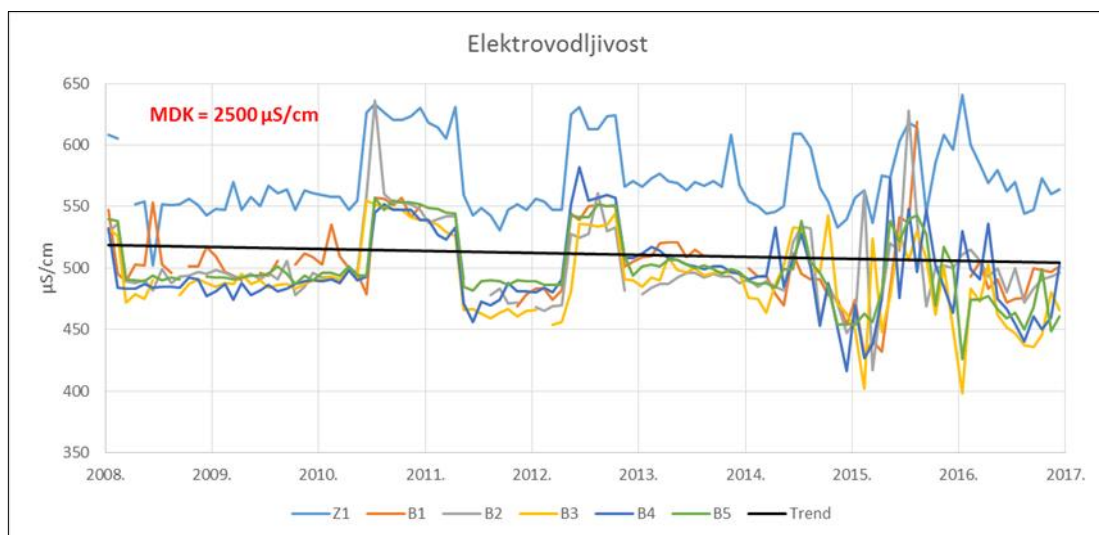
4.4. ELEKTROVODLJIVOST PODZEMNE VODE

Elektrovodljivost je sposobnost vode da provodi električnu energiju. Ta sposobnost ovisi o prisutnosti iona, o njihovoj ukupnoj koncentraciji, o pokretljivosti i valenciji iona i o temperaturi mjerenja. Otopine većine anorganskih spojeva relativno su dobri vodiči. Nasuprot tome molekule organskih spojeva, koje ne disociraju u vodenoj otopini, struju provode vrlo slabo (ako je uopće provode). Jedinica mjere elektrovodljivosti je mikrosimens po centimetru ($\mu\text{S}/\text{cm}$), što je recipročna vrijednost jedinici otpora, mikroohmu po centimetru, tj. $1 \mu\text{S}/\text{cm} = 1/1 \mu\text{mho}/\text{cm}$. Izmjerenom vrijednošću elektrovodljivosti možemo procijeniti stupanj mineralizacije vode i tako ocijeniti o kojoj je vrsti vode riječ (Dadić, 2001). U tablici 4.3 prikazane su vrste vode prema parametru elektrovodljivosti.

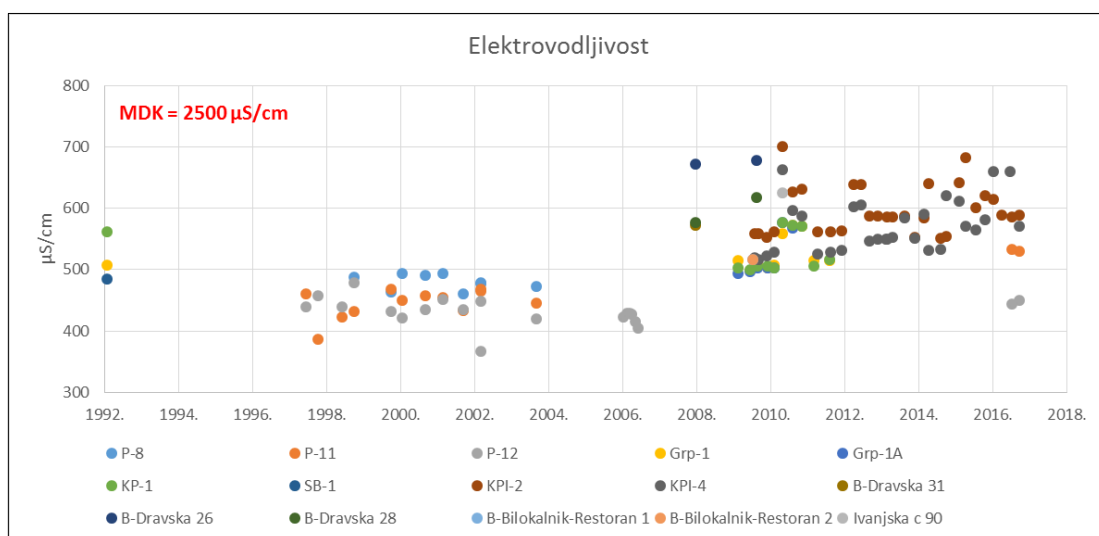
Tablica 4.3 Vrste vode po parametru elektrovodljivosti (Dadić, 2001).

| Vrsta vode | Elektrovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) |
|------------|---|
| Ultračista | <0,05 |
| Pitka | <1000 |
| Mineralna | 1000-3000 |
| Bočata | >1000 |
| Morska | >50000 |

Redovite analize elektrovodljivosti provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.7 prikazane su vrijednosti elektrovodljivosti po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o elektrovodljivosti podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.8.



Slika 4.7 Vrijednosti elektrovodljivosti podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

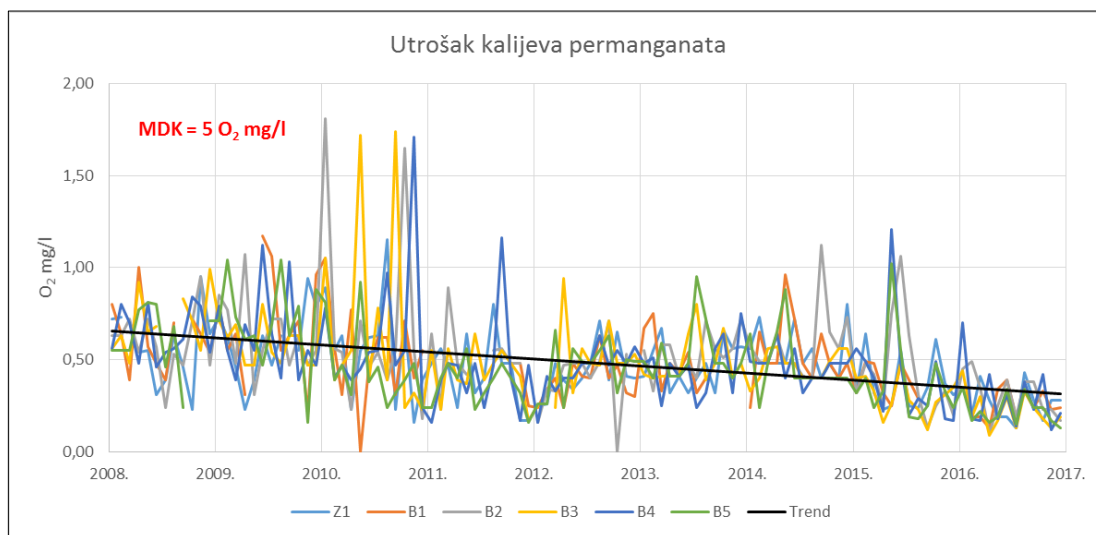


Slika 4.8 Vrijednosti elektrovodljivosti podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak.

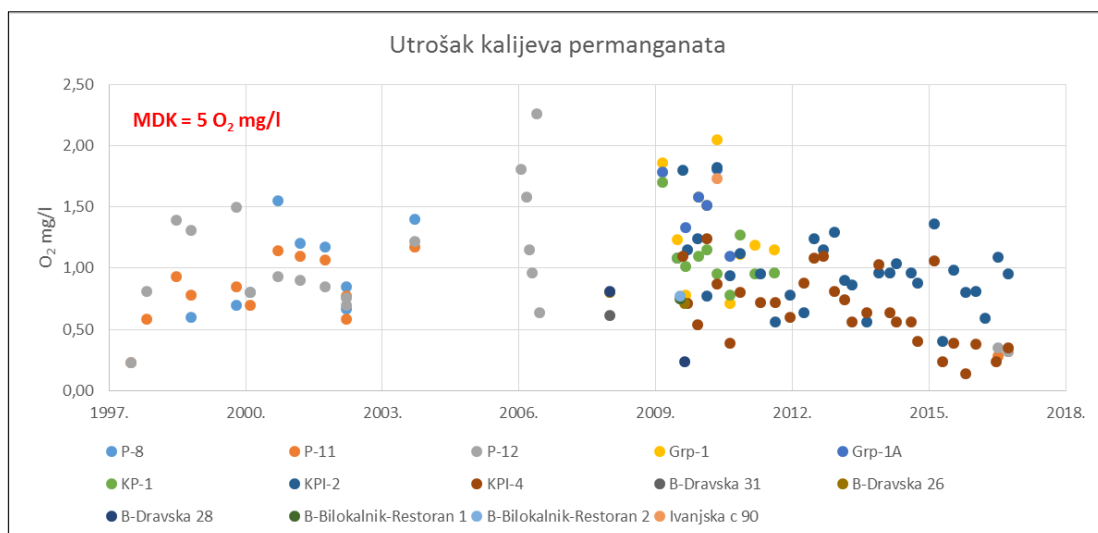
4.5. UTROŠAK KALIJEVOG PERMANGANATA U PODZEMNOJ VODI

Utrošak kalijevog permanganata (KMnO_4) koristan je parametar za određivanje količine organske tvari u vodi, jer je izravno određivanje sadržaja organskih tvari u vodi nemoguće. Razgradnjom KMnO_4 u vodi oslobađa se kisik, a oslobođeni kisik oksidira prisutnu organsku tvar. Na osnovi količine potrošenog KMnO_4 , odnosno količine kisika utrošenog (potrebnog) za oksidaciju organske tvari, izračuna se količina organske tvari (Horvat & Margeta, 2009).

Redovite analize utroška kalijeva permanganata provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.9 prikazane su vrijednosti kalijeva permanganata po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o utrošku kalijeva permanganata podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.10.



Slika 4.9 Vrijednosti utroška kalijeva permanganata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

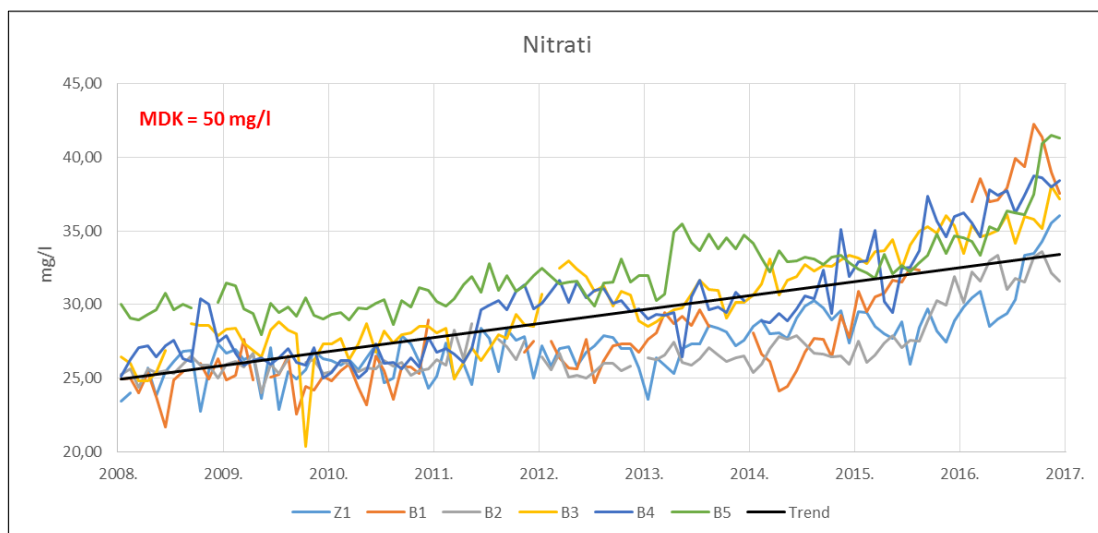


Slika 4.10 Vrijednosti utroška kalijeva permanganata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

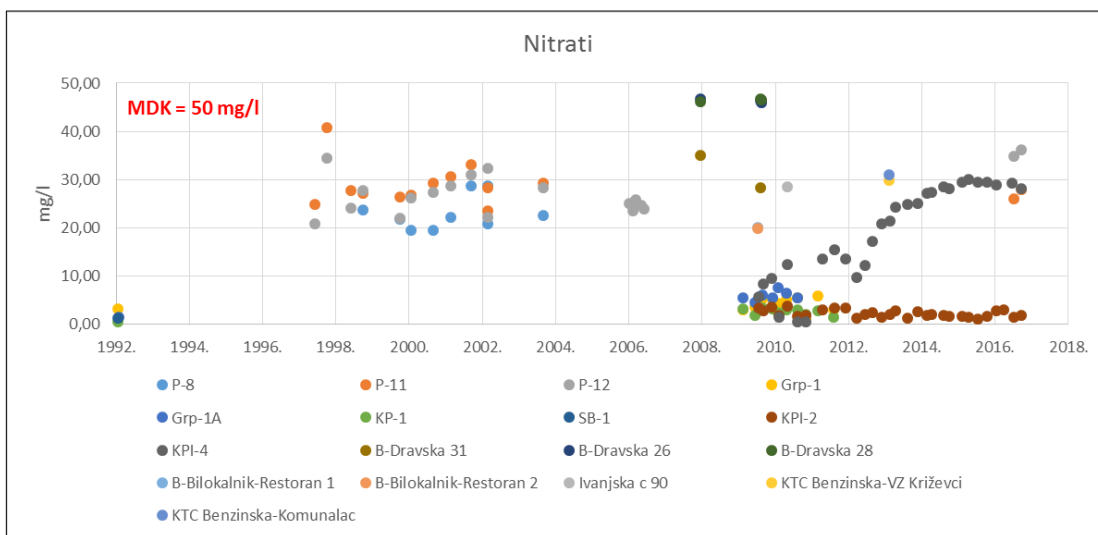
4.6. NITRATI U PODZEMNOJ VODI

U podzemnim vodama dušik se pojavljuje kao nitritni (NO_2^-), nitratni (NO_3^-) anion i u formi kationa kao amonij (NH_4^+) (Hem, 1985). Nitrati su soli ili esteri dušične kiseline. Opća je formula nitrata u obliku soli: $\text{M}^{\text{I}}\text{NO}_3$ ili $\text{M}^{\text{II}}(\text{NO}_3)_2$, u kojima su M^{I} i M^{II} jednovalentne, odnosno dvovalentne skupine ili atomi, najčešće natrija, kalija, amonija i kalcija. Opća je formula organskih nitrata u obliku estera $\text{R}-\text{ONO}_2$, u kojoj je R alkilna skupina (Hrvatska enciklopedija, 2012b). U tlu i podzemnoj vodi, oksidacija i redukcija dušika ostvarena je pomoću mikroorganizama. U oksidacijskim uvjetima amonij (NH_4^+) prelazi u nitrite (NO_2^-), koji zatim prelaze u nitrats (NO_3^-). Nitriti su jako reaktivni ioni i oni gotovo odmah prelaze u nitrats. To je razlog njihov male koncentracije u okolišu. Organska tvar će se raspasti u amonij u reduktivnim uvjetima (Feth, 1966). Prvi produkt mineralizacije dušika je amonij (NH_4^+), ali u aerobnim uvjetima mikroorganizmi ga mogu pretvoriti prvo u nitrit (NO_2^-), a zatim u nitrat (NO_3^-). Najznačajniji procesi u ciklusu dušika koji utječu na koncentraciju nitrata u tlu i vodi su nitrifikacija i denitrifikacija (Filipović et al., 2013).

Redovite analize nitrata provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.11 prikazane su vrijednosti nitrata po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o nitratima u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.12.



Slika 4.11 Vrijednosti nitrata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.



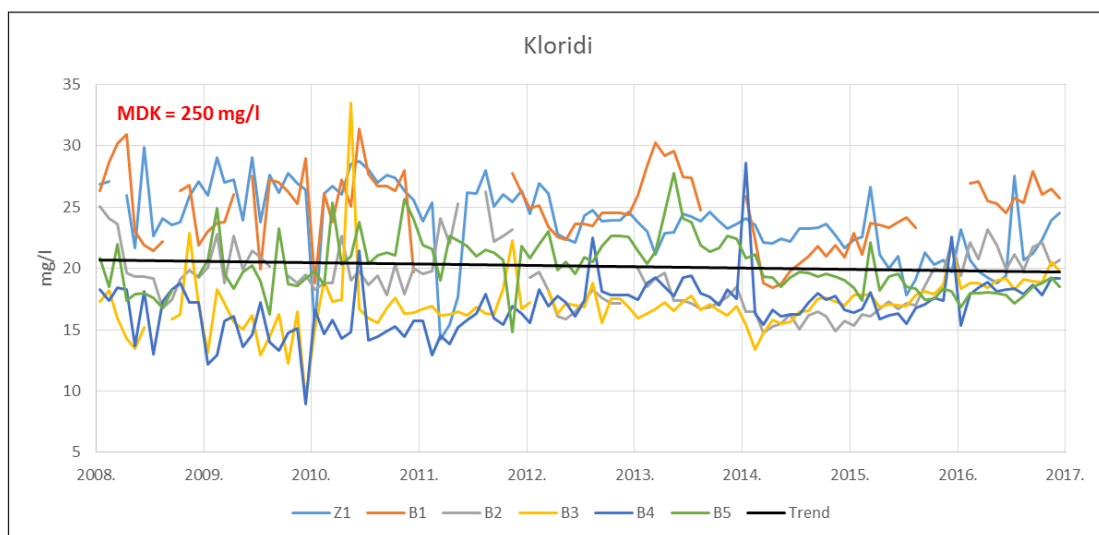
Slika 4.12 Vrijednosti nitrata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

4.7. KLORIDI U PODZEMNOJ VODI

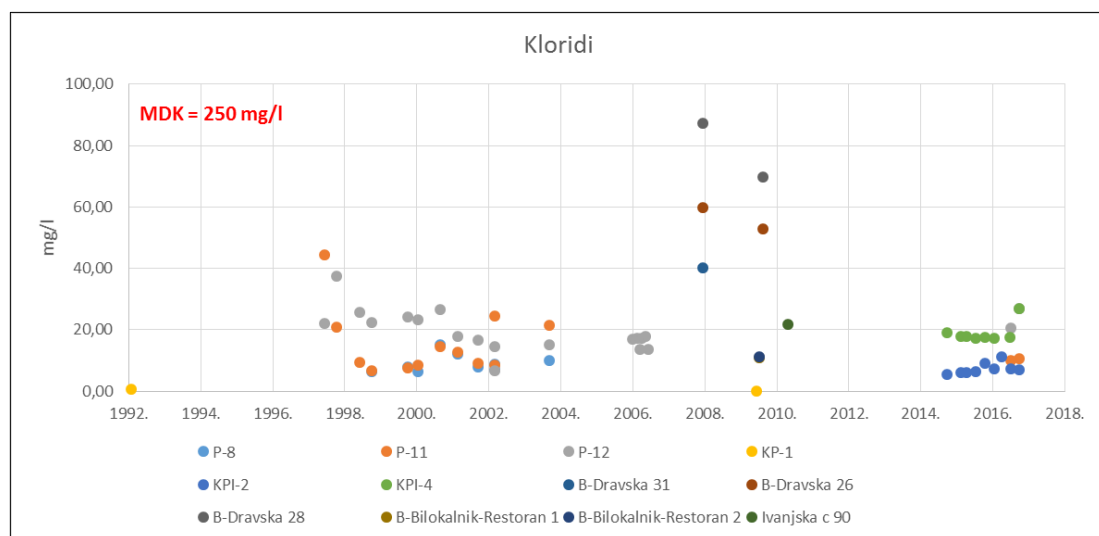
Prema Hrvatskoj enciklopediji (2012c) kloridi su kemijski spojevi u kojima je klor elektronegativan element, a to su:

- binarni spojevi klora s metalima, soli solne kiseline, npr. natrijev klorid, NaCl;
- binarni spojevi klora s mnogim nemetalima, npr. fosforov(III) klorid, PCl_3 ;
- klorugljikovodici, npr. vinil-klorid, $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$;
- kiselinski kloridi, tj. kloridi karboksilnih kiselina opće formule RCOCl .

Redovite analize klorida provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.13 prikazane su vrijednosti klorida po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o kloridima u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.14.



Slika 4.13 Vrijednosti klorida podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

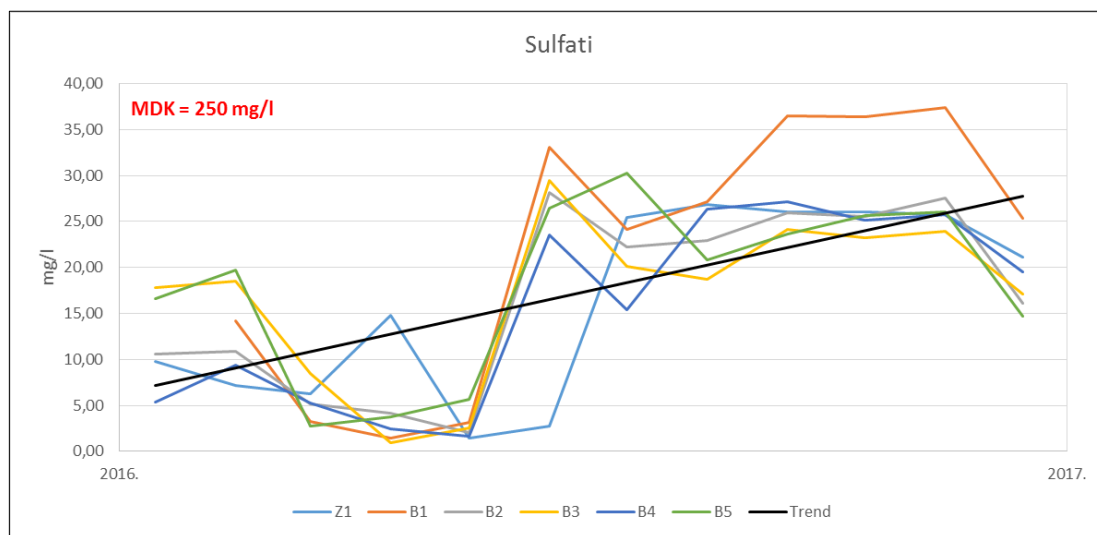


Slika 4.14 Vrijednosti klorida podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak.

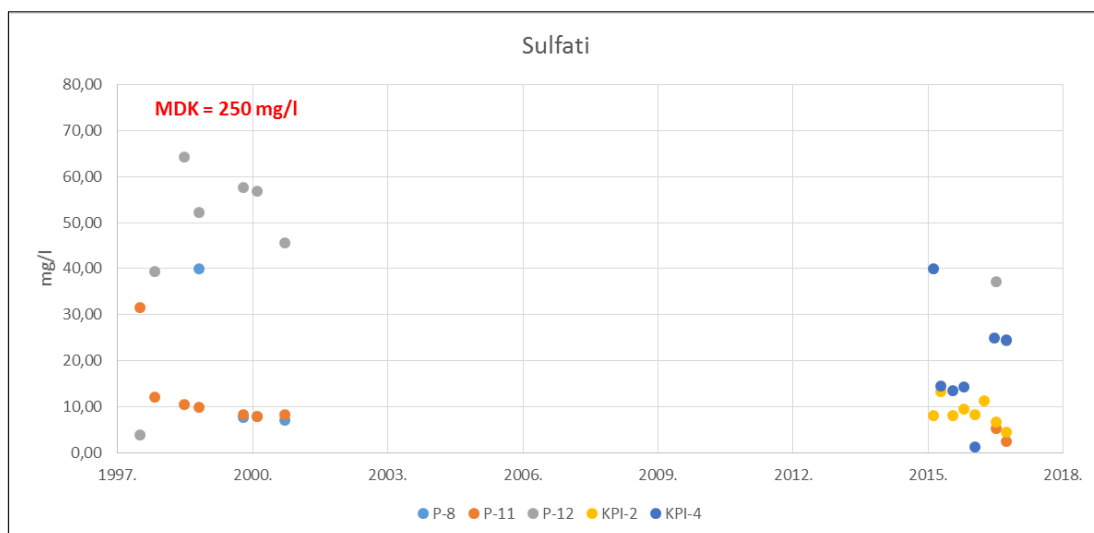
4.8. SULFATI U PODZEMNOJ VODI

Sulfati su soli ili esteri sumporne kiseline (H_2SO_4). Među anorganskim sulfatima, u kojima je stupanj oksidacije sumpora +6 (sadrže sulfatni ion, SO_4^{2-}), razlikuju se hidrogensulfati (opća formula $\text{M}^{\text{I}}\text{HSO}_4$, gdje je M^{I} jednovalentni metal) i neutralni sulfati ($\text{M}^{\text{I}}_2\text{SO}_4$). Hidrogensulfati zagrijavanjem gube vodu i prelaze u disulfate. Neutralni sulfati većinom su topljivi u vodi, osim zemnoalkalijskih (sulfati kalcija, stroncija i barija) te olovnoga(II) sulfata. Termički su stabilni, osim sulfata trovalentnih metala, koji otpuštanjem sumporova trioksida prelaze u oksid. Sulfati se pojavljuju kao važni minerali mnogih metala, npr. kalcija (anhidrit, CaSO_4 ; gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), barija (barit, BaSO_4), natrija (Glauberova sol, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), magnezija (gorka sol, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), te kao dvostruki sulfati (alauni, $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Organski sulfati mogu biti kiseli ($\text{R}-\text{OSO}_3\text{H}$) i neutralni ($\text{R}-\text{OSO}_2\text{O}-\text{R}'$), od kojih su kao tenzidi važni kiseli sulfati dobiveni esterifikacijom s dugolančastim, višim alkoholima (Hrvatska enciklopedija, 2012d).

Redovite analize sulfata provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.15 prikazane su vrijednosti sulfata po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak tijekom 2016. godine. Podaci o sulfatima u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.16.



Slika 4.15 Vrijednosti sulfata podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

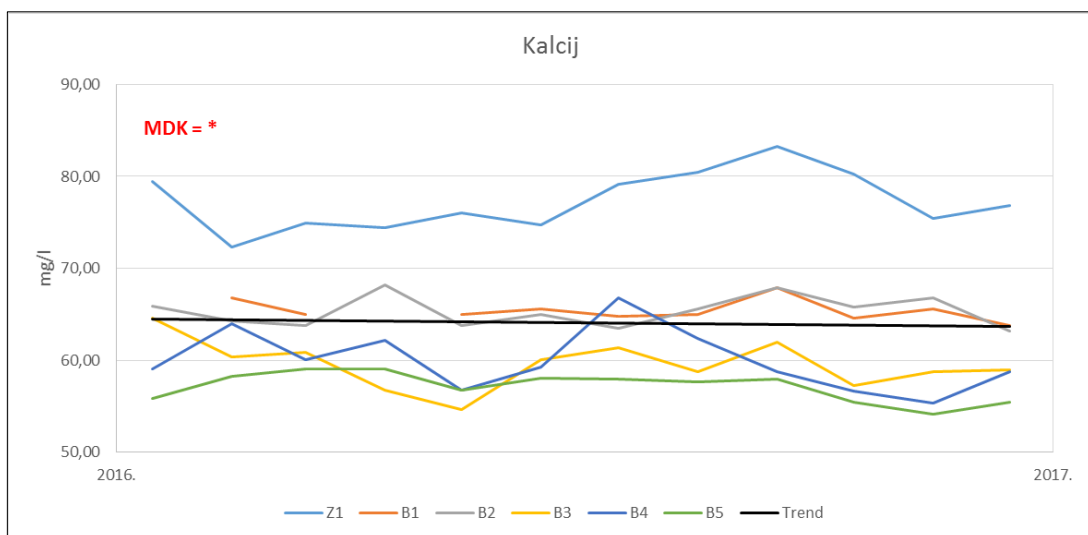


Slika 4.16 Vrijednosti sulfata podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

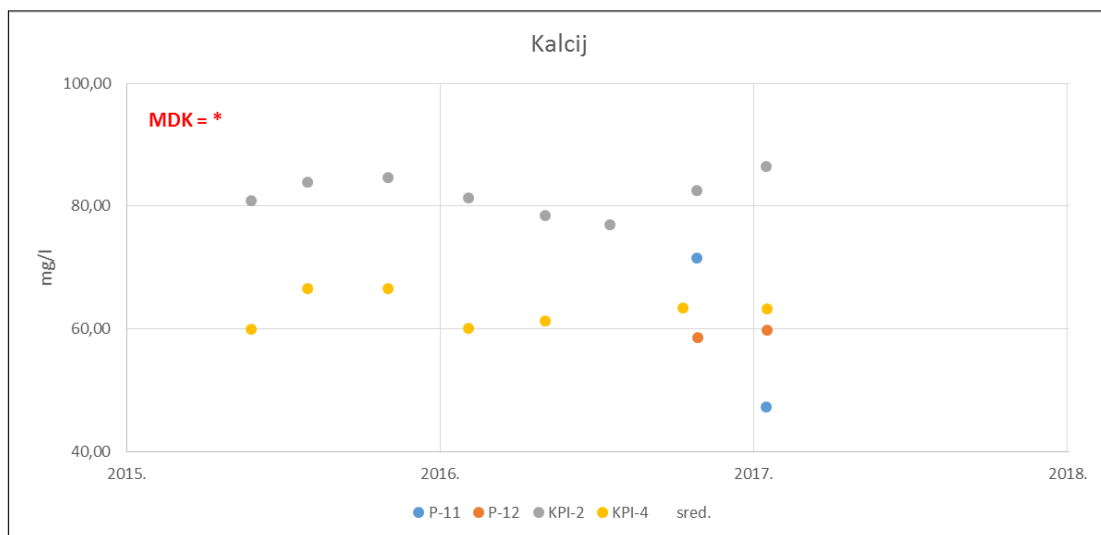
4.9. KALCIJ U PODZEMNOJ VODI

Kalcij, simbol Ca (lat. calcium), je kemijski element iz skupine zemnoalkalijskih elemenata (atomski broj 20, relativna atomska masa 40,08). Peti je po redu po zastupljenosti u Zemljinoj kori, nalazi se u prirodi samo u spojevima, osobito kao karbonat, CaCO_3 (vapnenac, kreda, mramor) i kalcijev magnezijev karbonat, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomit) (Hrvatska enciklopedija, 2012e). Nužan je element za biljke i životinje i glavna je komponenta otopljenih tvari u većini voda. Kalcij ima samo jedno oksidacijsko stanje, Ca^{2+} . Njegovo ponašanje u vodenim sustavima uglavnom je regulirano prema raspoloživosti topivih krutina koje sadrže kalcij, ravnotežnim uvjetima između otopine i plinovite faze koja uključuje ugljični dioksid ili raspoloživosti sumpor u obliku sulfata (Hem, 1985).

Redovite analize kalcija provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.17 prikazane su vrijednosti sulfata po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak tijekom 2016. godine. Podaci o kalciju u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.18.



Slika 4.17 Vrijednosti kalcija podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

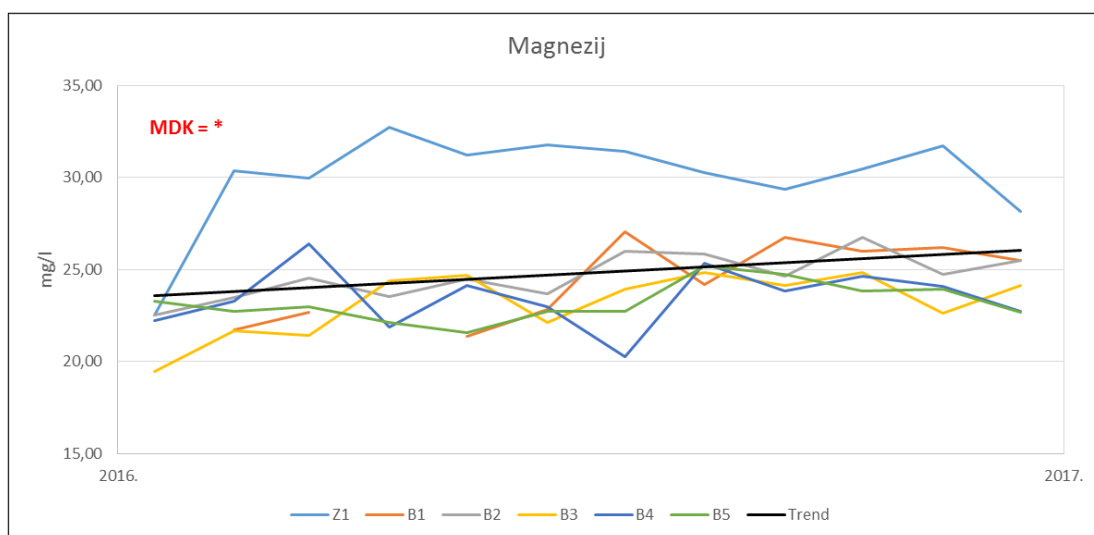


Slika 4.18 Vrijednosti kalcija podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

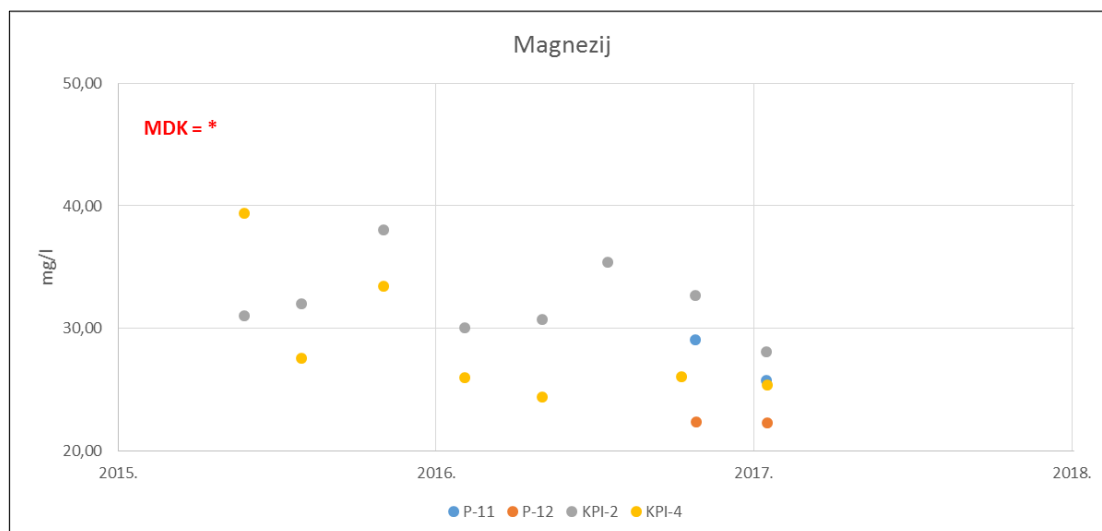
4.10. MAGNEZIJ U PODZEMNOJ VODI

Magnezij, simbol Mg (lat. magnesium), je kemijski element iz skupine zemnoalkalijskih metala (atomski broj 12, relativna atomska masa 24,305, stabilni izotopi s masenim brojevima 24, 25 i 26). U prirodi je vrlo raširen samo u spojevima; ima ga u prirodnim vodama, osobito u morskoj, u biljkama, životinjama i sastojak je mnogih minerala i stijena, napose silikatnih (serpentin, olivin, azbest i dr.) i karbonatnih (magnezit, dolomit). U štasfurtskim solima, koje su nastale taloženjem iz nekadašnjeg mora, mnogi minerali sadrže magnezij (karnalit, kainit, kizerit, šeniti) (Hrvatska enciklopedija, 2012f). Magnezij ima samo jedno važno oksidacijsko stanje vezano uz kemizam vode, a to je Mg^{2+} . Nužan je element u prehrani životinja i biljaka. Za magnezij i kalcij se smatra da imaju slične učinke u kemizmu vode, kao što je njihov doprinos u tvrdoći vode. Međutim geokemijsko ponašanje magnezija je bitno drugačije od geokemijskog ponašanja kalcija. Magnezijevi ioni su manji od natrijevih ili kalcijevih i mogu biti ugrađeni u centar šest oktaedralno raspoređenih molekula vode. Magnezijevi ioni imaju veću tendenciju privlačenja vode od većih iona natrija i kalcija (Hem, 1985).

Redovite analize magnezija provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.19 prikazane su vrijednosti magnezija po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak tijekom 2016. godine. Podaci o magneziju u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.20.



Slika 4.19 Vrijednosti magnezija podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.



Slika 4.20 Vrijednosti magnezija podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

4.11. TVRDOĆA PODZEMNE VODE

Tvrdoća vode je mjera za sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli. Za tehničke potrebe često količinu otopljene tvari u vodi označavamo tvrdoćom. Tvrdoća vode mjerilo je kapaciteta vode za njeno reagiranje sa sapunom. Tvrdoj vodi potrebno je prilično više sapuna za stvaranje pjene. Uzrok tome nije jedna tvar, nego raznoliki otopljeni polivalentni metali ioni, uglavnom kationi kalcija, i magnezija, iako znatno manje tome doprinose i drugi kationi, npr. barija, željeza, mangana, stroncija i cinka. Tvrdoća se najčešće izražava u mg/l CaCO_3 , ali i preko njemačkih ($^\circ\text{n}$ ili d°H), francuskih ($^\circ\text{f}$) i engleskih ($^\circ\text{e}$) stupnjeva tvrdoće. 1 njemački stupanj tvrdoće = 10 mg CaO u 1 litri vode, 1 francuski stupanj tvrdoće = 10 mg CaCO_3 u 1 litri vode i 1 engleski stupanj tvrdoće = 10 mg CaCO_3 u 0,7 litara vode (Dadić, 2001).

Podjela vode prema tvrdoći:

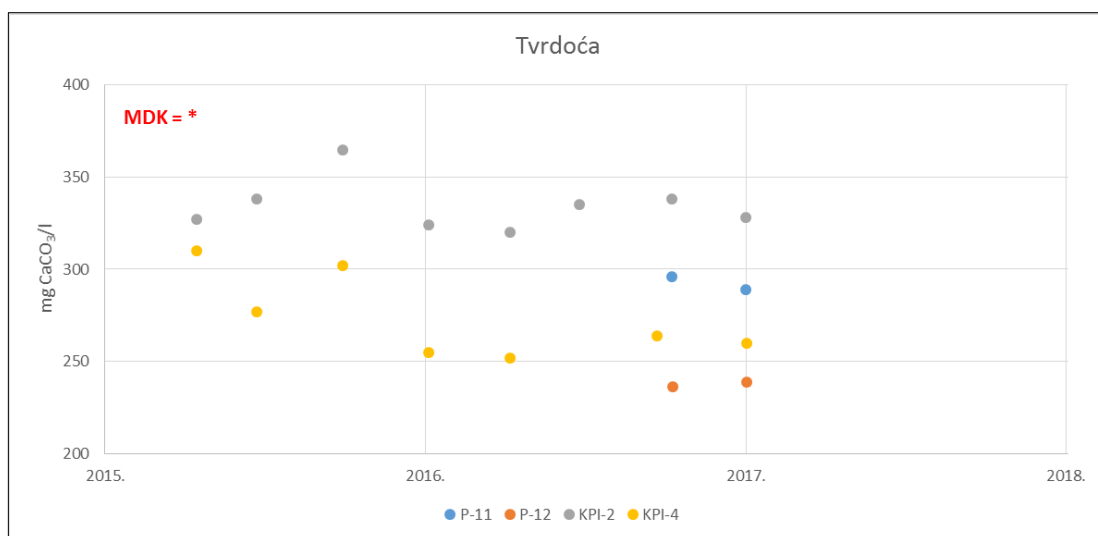
- Ukupnu tvrdoću (UT) (Tablica 4.4), čine u vodi sadržane sve kalcijeve i magnezijeve soli (hidrogenkarbonati, karbonati, sulfati, kloridi, nitrati, silikati);

Tablica 4.4 Podjela s obzirom na ukupnu tvrdoću vode.

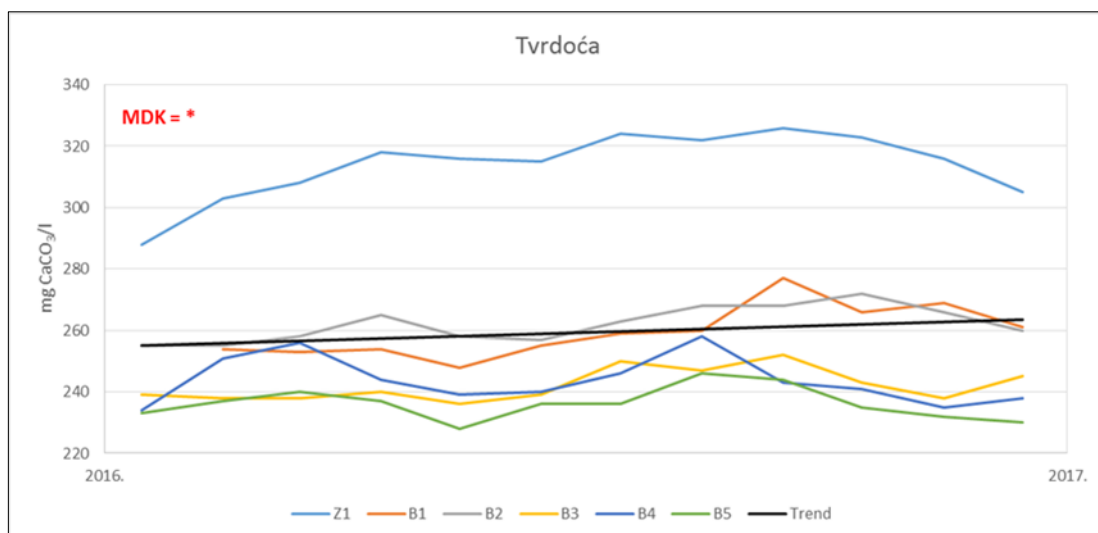
| °nj | vode |
|-------|----------------|
| <4 | Vrlo meke |
| 4-8 | Meke |
| 8-12 | Umjereno tvrde |
| 12-18 | Dosta tvrde |
| 18-30 | Tvrde |
| >30 | Vrlo tvrde |

- Karbonatnu tvrdoću (KT), čine svi kalcijevi i magnezijevi hidrogenkarbonati i karbonati kao dio ukupne tvrdoće (UT).
- Nekarbonatnu tvrdoću (NT), čine ostale kalcijeve i magnezijeve soli, tj. sulfati, kloridi, nitrati, i silikati. Ona se izračunava obično iz razlike, $NT = UT - KT$.
- Kalcijevu tvrdoću (CaT), sačinjavaju sve kalcijeve soli.
- Magnezijevu tvrdoću (MgT), sačinjavaju sve magnezijeve soli, $MgT = UT - CaT$, računa se iz razlike eksperimentalno određene ukupne i kalcijeve tvrdoće.
- Anionska tvrdoća (AT), koju čini zbroj aniona klorida (Cl^-), sulfata (SO_4^{2-}) i nitrata (NO_3^-) u vodi.
- Bazna tvrdoća (BT), koju čini zbroj karbonatne tvrdoće, alkalijskih (Na^+ i K^+) hidrogenkarbonata (bikarbonata) (ABK) i anionske tvrdoće: $BT = KT + ABK + AT$.

Redovite analize tvrdoće provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.21 prikazane su vrijednosti tvrdoće po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak tijekom 2016. godine. Podaci o tvrdoći podzemne vode na ostalim objektima prikazani su na slici 4.22.



Slika 4.21 Vrijednosti tvrdoće podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

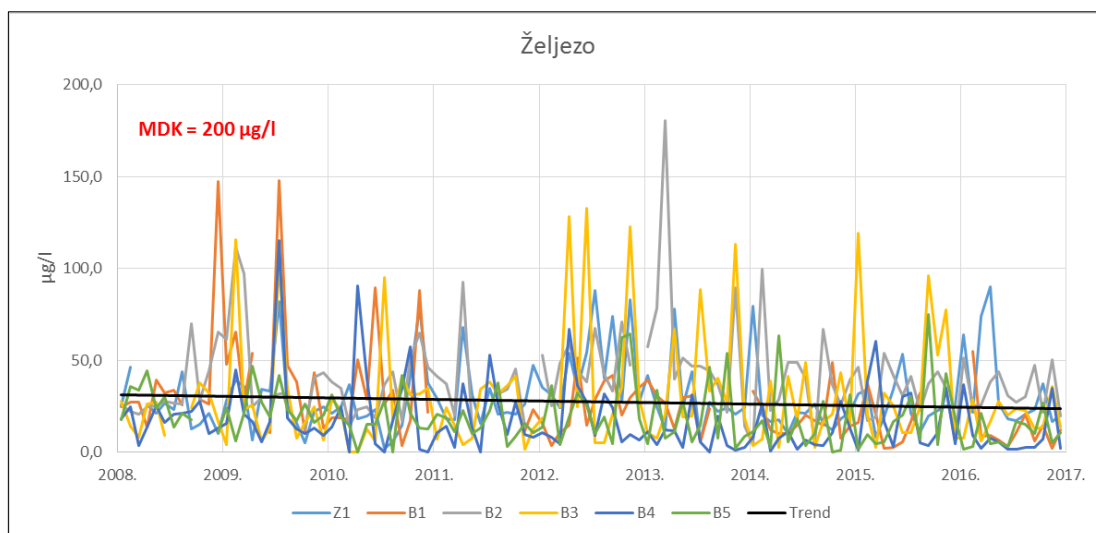


Slika 4.22 Vrijednosti tvrdoće podzemne vode uzorkovane u piezometrima, u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

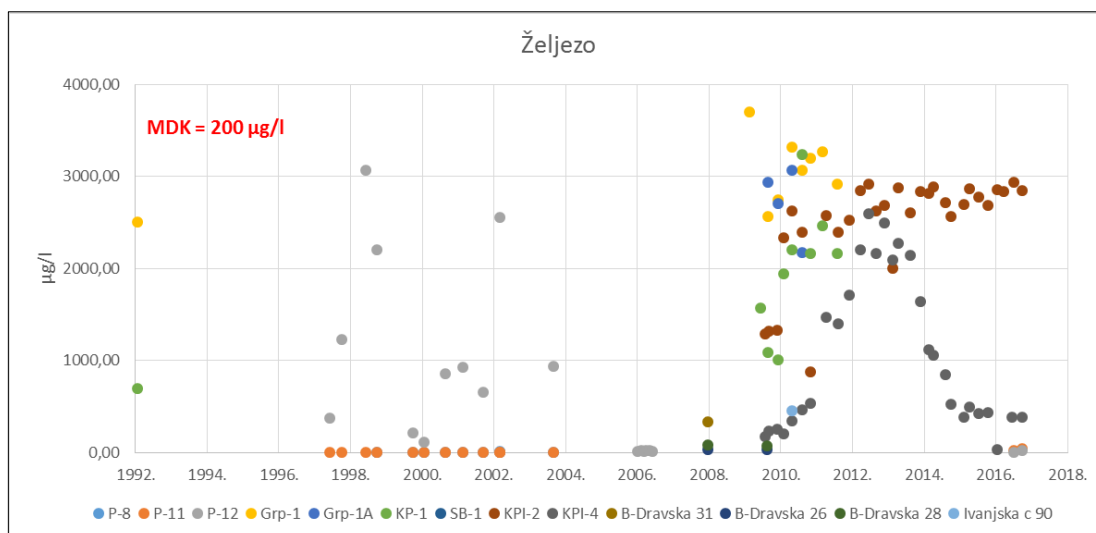
4.12. ŽELJEZO U PODZEMNOJ VODI

Željezo, simbol Fe (lat. ferrum), je kemijski element (atomski broj 26, relativna atomska masa 55,847) s četiri stabilna izotopa (maseni brojevi 54, 56, 57 i 58), od kojih je najčešći ⁵⁶Fe (91,72%), te s više nestabilnih, radioaktivnih izotopa (najstabilniji je ⁶⁰Fe) (Hrvatska enciklopedija, 2017e). U kojoj se mjeri željezo otapa u podzemnoj vodi ovisi o količini kisika i u manjoj mjeri o kiselosti (pH) podzemne vode. Željezo se može pojaviti u dva oblika, kao Fe²⁺ i Fe³⁺. Kada je količina otopljenog kisika veća od 1-2 mg/l, željezo se pojavljuje u obliku Fe³⁺, a kada je količina otopljenog kisika manja od 1-2 mg/l, pojavljuje se u obliku Fe²⁺. Željezo će se više otapati ako podzemna voda sadrži manju količinu kisika, a povećanu kiselost (pH). Fe²⁺ je vrlo topiv, dok se Fe³⁺ ne otapa znatno (Oregon health authority, 2017).

Redovite analize željeza provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.23 prikazane su vrijednosti željeza po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2008. do 2017. godine. Podaci o željezu u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.24.



Slika 4.23 Vrijednosti željeza podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.

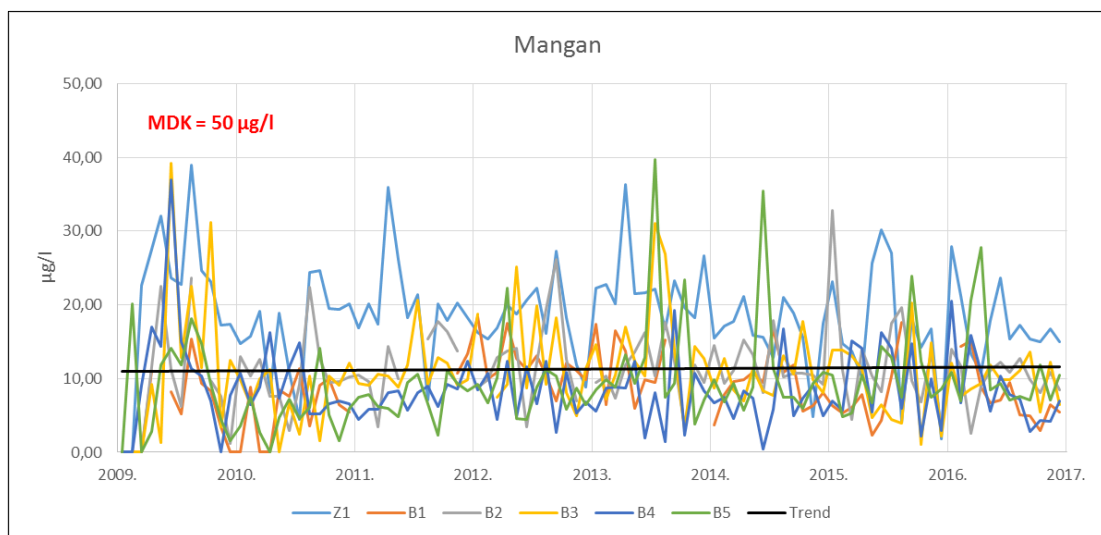


Slika 4.24 Vrijednosti željeza podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

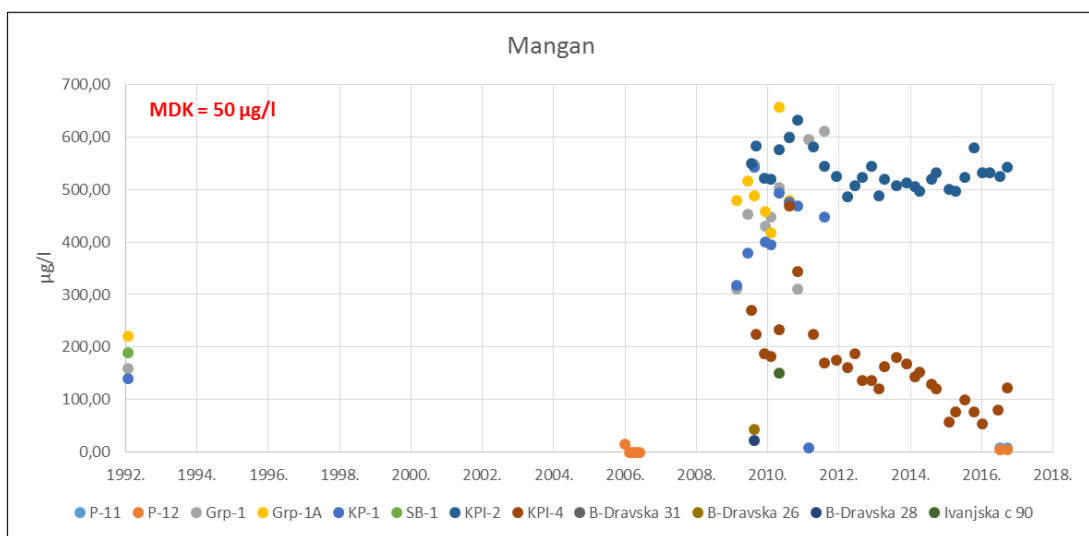
4.13. MANGAN U PODZEMNOJ VODI

Mangan, simbol Mn (lat. manganum), je kemijski element iz skupine prijelaznih elemenata (atomski broj 25, relativna atomska masa 54,9380), monoizotopan (^{55}Mn). Kemijski je sličan željezu te ga prati u njegovim rudama. (Hrvatska enciklopedija, 2012f). Mangan poput željeza sudjeluje u reduktivnim procesima pod atmosferskim uvjetima. Međutim mangan u takvim uvjetima dolazi u tri oblika Mn^{2+} , Mn^{3+} i Mn^{4+} . Mangan je nepoželjni onečišćivač vode, uglavnom zbog tendencije da odlaže crne oksidacijske mrlje (Hem, 1985).

Redovite analize mangana provode se na uzorcima vode iz zdenaca tijekom rada. Na slici 4.25 prikazane su vrijednosti željeza po pojedinim zdencima crpilišta Ivanščak u razdoblju od 2009. do 2017. godine. Podaci o manganu u podzemnoj vodi na ostalim objektima prikazani su na slici 4.26.



Slika 4.25 Vrijednosti mangana podzemne vode uzorkovane u zdencima na crpilištu Ivanščak.



Slika 4.26 Vrijednosti mangana podzemne vode uzorkovane u piezometrima, plitkim kopanim zdencima, zdencima u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak.

5. REZULTATI I RASPRAVA

Analizom podataka o kakvoći podzemne vode načinjene su tablice koje sadrže minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti, trend (samo za zdence crpilišta Ivanščak) i maksimalno dopuštene vrijednosti (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013) za 13 parametara. Svaki parametar će sadržavati navedene vrijednosti zasebno za zdence Z-1, B-1, B-2, B-3, B-4 i B-5 crpilišta Ivanščak, piezometre P-8, P-11 i P-12 u neposrednoj okolini crpilišta Ivanščak, piezometre GP-1, GP-1A, KuP, PuP, KP-2 i KP-4 u široj okolini crpilišta Ivanščak, plitke kopane zdence u Dravskoj ulici (B-Dravska 31, B-Dravska 26, B-Dravska 28) i Ivanjskoj cesti (Ivanjska c90) koji se koriste u domaćinstvu, zdence (B-BiloKalnika-Restoran 1, B-BiloKalnika-Restoran 2) u krugu pogona Bilokalnika i zdence (KTC Benzinska-VZ Križevci, KTC Benzinska-Komunalac) kraj KTC benzinskih postaja.

Vrijednosti koje prelaze maksimalno dopuštene vrijednosti označene su crvenom bojom, a trend koji vodi smanjenju kakvoće podzemne vode žutom bojom.

5.1. TEMPERATURA PODZEMNE VODE

Temperatura vode je uglavnom povezana s temperaturom okoline. To je vidljivo iz slike 4.1 gdje su najviše temperature podzemne vode zabilježene oko sredine kalendarske godine, a najniže temperature oko početka i kraja kalendarske godine na crpilištu Ivanščak. Vrijednosti temperature ne premašuju maksimalno dopuštene koncentracije (MDK), a vidljiv je negativni trend vrijednosti koji ne vodi smanjenju kakvoće podzemne vode (slika 4.1; tablica 5.1). Što se tiče vrijednosti temperature u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak one ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.2 i tablica 5.1).

Tablica 5.1 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti temperature podzemne vode.

| Temperatura (°C) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 21.4.2006.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 11,40 | 10,20 |
| Srednja vrijednost | 13,20 | 12,69 |
| Maksimalna vrijednost | 14,70 | 14,70 |
| MDK | 25 | 25 |
| Trend | - | |

5.2. MUTNOĆA PODZEMNE VODE

Vrijednosti mutnoće vode na samom crpilištu Ivanščak imaju negativni trend i ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.3; tablica 5.2). Vrijednosti mutnoće u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak su konstantno povišene (slika 4.4). Maksimalna vrijednost od 34,10 NTU izmjerena je u plitkom kopanom zdencu u Ivanjskoj ulici (Ivanjska c 90), dok srednja vrijednost iznosi 10,96 NTU što je visoko iznad granice maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.4; tablica 5.2). Visoke vrijednosti mutnoće nisu karakteristične za aluvijalne vodonosnike. Povećana mutnoća u uzorku može biti posljedica uzimanja uzorka iz nedovoljno očišćenog objekta odnosno iz prekratkog vremena crpljenja (trebalo bi se crpiti dok se voda ne izbistri).

Tablica 5.2 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mutnoće podzemne vode.

| Mutnoća (NTU) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2009.-15.12.2016. | 1.7.1997.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 0,10 | 0,00 |
| Srednja vrijednost | 0,30 | 10,96 |
| Maksimalna vrijednost | 1,40 | 34,10 |
| MDK | 4 | 4 |
| Trend | - | |

5.3. PH PODZEMNE VODE

Vrijednost pH je pokazatelj koji ukazuje na promjene kakvoće vode tijekom rada izvorišta. Vrijednosti pH na samom crpilištu Ivanščak imaju negativni trend, odnosno kiselost, ali ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.5, tablica 5.3). Vrijednosti pH vode u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak također ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.6, tablica 5.3).

Tablica 5.3 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti pH podzemne vode.

| pH (pH jedinica) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 6,54 | 6,24 |
| Srednja vrijednost | 6,93 | 7,43 |
| Maksimalna vrijednost | 7,50 | 8,48 |
| MDK | 6,5-9,5 | 6,5-9,5 |
| Trend | - | |

5.4. ELEKTROVODLJIVOST PODZEMNE VODE

Jedan od pokazatelja promjena kemizma podzemne vode je elektrovodljivost. Ona varira kako se mijenja mineralizacija vode pa tako pokazuje i promjene kemizma podzemne vode. Vrijednosti elektrovodljivosti vode na samom crpilištu Ivanščak ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.7, tablica 5.4). Također se na slici 4.7 može zapaziti kako se ona tijekom vremena mijenjala skokovito, no u isto vrijeme pokazuje negativni trend. Što se tiče vrijednosti elektrovodljivosti u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak, one ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.8, tablica 5.4).

Tablica 5.4 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti elektrovodljivosti podzemne vode.

| Elektrovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|---|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 398 | 367 |
| Srednja vrijednost | 512 | 531 |
| Maksimalna vrijednost | 641 | 701 |
| MDK | 2500 | 2500 |
| Trend | - | |

5.5. UTROŠAK KALIJEVA PERMANGANATA U PODZEMNOJ VODI

Vrijednosti utroška kalijeva permanganata na crpilištu Ivanščak imaju negativni trend, te vrijednosti ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK (slika 4.9, tablica 5.5). Što se tiče vrijednosti utroška kalijeva permanganata u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak, vrijednosti također ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.10, tablica 5.5).

Tablica 5.5 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti utroška kalijeva permanganata u podzemnoj vodi.

| Utrošak KMnO ₄ (mg O ₂ /l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|--|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 1.7.1997.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 0,09 | 0,14 |
| Srednja vrijednost | 0,49 | 0,95 |
| Maksimalna vrijednost | 1,81 | 2,26 |
| MDK | 5 | 5 |
| Trend | - | |

5.6. NITRATI U PODZEMNOJ VODI

Parametar kojemu treba posvetiti posebnu pažnju na promatranom području je vrijednost nitrata. Vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi na samom crpilištu Ivanščak imaju pozitivan trend (slika 4.11). Bitno je naglasiti da vrijednosti ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK), ali su im se zato jako približile (slika 4.11, tablica 5.6). Ovakvim pozitivnim trendom u skoro vrijeme vrijednosti bi mogle prijeći maksimalno dopuštene koncentracije (MDK). Promatrajući vrijednosti nitrata u neposrednoj i široj okolini zapaža se veliko variranje vrijednosti sadržaja nitrata u nekim piezometrima koja pokazuju određena sezonska kolebanja vjerojatno povezana s oborinama (slika 4.12). Vrijednosti nitrata u neposrednoj i široj okolini ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK). Zapažaju se povećane koncentracije nitrata koje u određenim trenucima dosežu vrijednosti vrlo bliske maksimalno dopuštenim koncentracijama (MDK) (slika 4.12, tablica 5.6). To može ukazivati na onečišćenje propusnim septičkim jamama i prirodnim gnojivima u poljoprivredi

Tablica 5.6 Minimalne, srednje i maksimalnoj vrijednosti nitrata u podzemnoj vodi.

| Nitrati (NO ₃ mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.201 |
| Minimalna vrijednost | 20,34 | 0,53 |
| Srednja vrijednost | 29,21 | 16,20 |
| Maksimalna vrijednost | 42,25 | 46,71 |
| MDK | 50 | 50 |
| Trend | + | |

5.7. KLORIDI U PODZEMNOJ VODI

Kloridi su pokazatelj koji prvi ukazuju da se nešto događa s kakvoćom vode u vodonosniku. Vrijednosti klorida na samom crpilištu Ivanščak imaju negativni trend, a vrijednosti ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.13, tablica 5.7). Vrijednosti klorida u vodi u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak imaju konstantne vrijednosti, tek se kod plitkih kopanih zdenaca u Dravskoj ulici (B-Dravska 31, B-Dravska 26, B-Dravska 28) može vidjeti blago povišenje (slika 4.14). Vrijednosti ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.14, tablica 5.7). Povišeni sadržaj na navedenim plitkim kopanim zdencima u Dravskoj ulici (B-Dravska 31, B-Dravska 26, B-Dravska 28) vjerojatno je posljedica soljenja cesta, jer su vrijednosti izmjerene u zimskom periodu.

Tablica 5.7 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti klorida u podzemnoj vodi.

| Kloridi (Cl mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 8,97 | 0 |
| Srednja vrijednost | 20,19 | 17,97 |
| Maksimalna vrijednost | 33,50 | 87,40 |
| MDK | 250 | 250 |
| Trend | - | |

5.8. SULFATI U PODZEMNOJ VODI

U analizi svih parametara, ističu se vrijednosti sulfata na samom crpilištu Ivanščak. Vrijednosti sulfata na crpilištu Ivanščak ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.15, tablica 5.8), ali postoji velik pozitivni trend (slika 4.15). Vrijednosti sulfata u neposrednoj i široj okolici crpilišta također ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.16, tablica 5.8). Povišen sadržaj vjerojatno je posljedica lokalnog utjecaja.

Tablica 5.8 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti sulfata u podzemnoj vodi.

| Sulfati (SO ₄ mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2016.-15.12.2016. | 1.7.1997.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 0,92 | 1,29 |
| Srednja vrijednost | 17,53 | 20,08 |
| Maksimalna vrijednost | 37,41 | 64,30 |
| MDK | 250 | 250 |
| Trend | + | |

5.9. KALCIJ U PODZEMNOJ VODI

Vrijednosti kalcija na crpilištu Ivanščak nemaju izražen trend, ali se može uočiti da su vrijednosti u zdencu Z-1 povišene u odnosu na vrijednosti u ostalim zdencima (slika 4.17, tablica 5.9). Što se tiče vrijednosti kalcija u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak nešto su više u odnosu na vrijednosti na crpilištu Ivanščak, (slika 4.18, tablica 5.9).

Tablica 5.9 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti kalcija u podzemnoj vodi.

| Kalcij (Ca mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2016.-15.12.2016. | 26.5.2015.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 54,18 | 47,26 |
| Srednja vrijednost | 64,07 | 70,19 |
| Maksimalna vrijednost | 83,23 | 86,50 |
| MDK | * | * |
| Trend | / | |

*= Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (*Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013)).

5.10. MAGNEZIJ U PODZEMNOJ VODI

Vrijednosti magnezija na crpilištu Ivanščak imaju trend rasta, te se može uočiti da su vrijednosti u zdencu Z-1 povišene u odnosu na vrijednosti u ostalim zdencima (slika 4.19, tablica 5.10). Što se tiče vrijednosti kalcija u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak nešto su više u odnosu na vrijednosti na crpilištu Ivanščak, (slika 4.20, tablica 5.10).

Tablica 5.10 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti magnezija u podzemnoj vodi.

| Magnezij (Mg mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2016.-15.12.2016. | 26.5.2015.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 19,49 | 22,30 |
| Srednja vrijednost | 24,84 | 29,47 |
| Maksimalna vrijednost | 32,70 | 39,43 |
| MDK | * | * |
| Trend | + | |

*= Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (*Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013)).

5.11. TVRDOĆA PODZEMNE VODE

Vrijednosti tvrdoće imaju pozitivan trend na crpilištu Ivanščak, a vidljiv je i povišen sadržaj vrijednosti tvrdoće u zdencu Z-1 u odnosu na vrijednosti u ostalim zdencima (slika 4.21, tablica 5.11). Uzrok tome su povišene vrijednosti kalcija i magnezija. S obzirom na ukupnu tvrdoću voda je dosta tvrda do tvrda. Što se tiče vrijednosti tvrdoće u neposrednoj i široj okolici crpilišta Ivanščak uočljivo je da su vrijednosti nešto više nego na samom crpilištu Ivanščak, a sa obzirom na ukupnu tvrdoću voda je dosta tvrda do tvrda (slika 4.22, tablica 5.11).

Tablica 5.11 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti tvrdoće podzemne vode..

| Tvrdoća (CaCO ₃ mg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|----------------------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2016.-15.12.2016. | 26.5.2015.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 228 | 236 |
| Srednja vrijednost | 260 | 298 |
| Maksimalna vrijednost | 326 | 365 |
| MDK | * | * |
| Trend | + | |

*= Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013)).

5.12. ŽELJEZO U PODZEMNOJ VODI

Vrijednosti željeza na samom crpilištu Ivanščak imaju negativni trend, ali ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.23, tablica 5.12). Velika većina vrijednosti željeza u vodi u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak prelazi maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.24, tablica 5.12). Maksimalna vrijednost od 3695,30 µg/l izmjerena je 7.5. 2009. godine u piezometru Grp-1 koji se nalazi u široj okolini samog crpilišta Ivanščak, dok srednja vrijednost iznosi 1354,73 µg/l što je visoko iznad granice maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.24, tablica 5.12).

Tablica 5.12 Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti željeza u podzemnoj vodi.

| Željezo (Fe µg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2008.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 0,00 | 0,00 |
| Srednja vrijednost | 27,41 | 1354,73 |
| Maksimalna vrijednost | 180,50 | 3695,30 |
| MDK | 200 | 200 |
| Trend | - | |

5.13. MANGAN U PODZEMNOJ VODI

Vrijednosti mangana na samom crpilištu Ivanščak imaju pozitivni trend, ali ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.25, tablica 5.13). Velika većina vrijednosti mangana u vodi u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak prelazi maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.25, tablica 5.13). Maksimalna vrijednost od 656,20 µg/l izmjerena je 21.7. 2010. u piezometru Grp-1 koji se nalazi u široj okolini samog crpilišta Ivanščak, dok srednja vrijednost iznosi 330,53 µg/l što je visoko iznad granice maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) (slika 4.26, tablica 5.13).

Tablica 5.13 Minimalne, srednje, maksimalne vrijednosti mangana u podzemnoj vodi.

| Mangan (Mn µg/l) | Zdenci crpilišta Ivanščak | Neposredna i šira okolica crpilišta Ivanščak |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Datum | 15.1.2009.-15.12.2016. | 24.1.1992.-17.1.2017. |
| Minimalna vrijednost | 0,00 | 0,00 |
| Srednja vrijednost | 11,28 | 330,53 |
| Maksimalna vrijednost | 39,70 | 656,20 |
| MDK | 50 | 50 |
| Trend | + | |

6. ZAKLJUČAK

Na crpilištu Ivanščak glavno obilježje podzemne vode je da ona zadovoljava kriterije pitke vode prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013), *Zakonu o vodama* (NN 153/2009) i *Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 56/2013). Stoga nije potrebna njena preradba prije upuštanja u distribucijski sustav i vodoopskrbnu mrežu. To je svakako bio osnovni razlog uspješnog razvitka ovoga crpilišta. U prvim istraživanjima pažnja je bila usmjerena na pitanje sadržaja željeza, ali u zadnje vrijeme sve više pažnje je usmjereno na onečišćenje podzemnih voda. Na tragu toga pozornost se prvenstveno posvećuje sadržaju nitrata kao najizraženijem produktu gnojidbe poljoprivrednih površina, crnih jama i kanalizacijskih sustava.

U neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak također su zapažene vrijednosti mutnoće, željeza i mangana koje prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013). Povišena vrijednost mutnoće kako je već navedeno vjerojatno je posljedica uzimanja uzorka iz nedovoljno očišćenog objekta odnosno iz prekratkog vremena crpljenja. Što se tiče željeza i mangana njihov povišen sadržaj je uzrokovan uvjetima taloženja vodonosnika. Stoga oni kao takvi nisu parametri koji upućuju na antropogeno onečišćenje, već na prirodno lošiju kakvoću podzemne vode na crpilištu Ivanščak.

Vrijednosti nitrata ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013) kako se može vidjeti u rezultatima, ali se također može zapaziti i trend rasta vrijednosti nitrata na samom crpilištu Ivanščak. Matematičkom analizom ovoga trenda za razdoblje od 2008. do 2017. godine može se procijeniti da bi se, u slučaju daljnje kontinuirane tendencije porasta sadržaja nitrata u podzemnoj vodi dosegla maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013) za približno 50 do 70 godina, što je nešto brže od ranijih procjena.

Što se tiče sadržaja nitrata u neposrednoj i široj okolini crpilišta Ivanščak ono je ispod maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013). Također se može zapaziti da su veće vrijednosti nitrata u piezometrima u neposrednoj okolini nego u široj okolini crpilišta Ivanščak. Jedino se na piezometru KPI-4 koji se nalazi u široj okolini crpilišta Ivanščak može uočiti povišene vrijednosti i trend rasta.

Posebno su ističu podaci iz analiza vode zdenaca u Dravskoj ulici. Mogu se uočiti povećane koncentracije nitrata koje u određenim trenucima dosežu vrijednost vrlo bliske maksimalnoj dopuštenoj koncentraciji (MDK) sukladno *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN 125/2013). Povećane koncentracije nitrata na navedenom području su nekoliko puta veće nego u drugim dijelovima u području crpilišta Ivanščak. To je zapaženo i u ranijim analizama.

Iz dobivenih podatka može se zaključiti da je istraživanja prvenstveno potrebno usmjeriti na prostornu distribuciju sadržaja nitrata u zahvaćenim podzemnim vodama, za što je nužno dograditi piezometarsku mrežu u zonama u kojima je trend porasta nitrata naročito značajan.

7. LITERATURA

BABIĆ, M., FILIPAN, S. & DEMŠIĆ, H., 2008. *Plan navodnjavanja Koprivničko-križevačke županije*. Studija. Zagreb: Institut građevinarstva Hrvatske, 2310-093-06.

BENAMATIĆ, D., 1973. *Koprivnica geofizička ispitivanja*. Fond stručnih dokumenata Geotehnika, Zagreb

BOŠKOVIĆ, D. & KLANJEC, D., 1986. *Procjena eksploatacijskih rezervi i zaštitne zone crpilišta „Ivanščak“-Koprivnica*. Knjige I-IV. Geotehnika, Zagreb.

CAPAR, A., 1985a. *Vodozahvatni radovi Delovi, Bunari B-4 i B-5*. Fond dokumenata Geofizika, Zagreb.

CAPAR, A., 1985b. *Vodoistražni i vodozahvatni radovi, crpilište Ivanščak - Koprivnica*. Fond dokumenata Geofizika, Zagreb.

DADIĆ, Ž., 2001. *Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj*. Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo.

DEKANIĆ, S., KNEŽEVIĆ, K., PIŠL, Z., KRULJAC, A., BAŠIĆ KONČAR, M., KEROVEC, M., MARKANOVIĆ, D., PINJUH, N., JOZIĆ, J., ERNEČIĆ, G. & BEZIN, M., 2016. *Elaborat zaštite okoliša, Vodoopskrbni sustav i sustav javne odvodnje na području aglomeracije grada Koprivnice*. Zagreb: Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava (IRES).

DELLA MARINA, S., 1976a. *Izveštaj o rekonstrukciji bunara B-1 na crpilištu Ivanjščak, tvornice Podravka, Koprivnica*. Fond stručnih dokumenata Geotehnika, Zagreb

DELLA MARINA, S., 1976b. *Izveštaj o probnom crpljenju bunara B-1 na crpilištu Ivanjščak, tvornice Podravka, Koprivnica*. Fond stručnih dokumenata Geotehnika, Zagreb

DELLA MARINA, S. & PICEK, D., 1977. *Elaborat izvedbe bunara B-3 na crpilištu Ivanjščak u Koprivnici*. Fond stručnih dokumenata Geotehnika, Zagreb

DELLA MARINA, S., PLEIĆ, F. & PIRŠ, E., 1974. *Elaborat o izvedbi vodoistražnih radova na crpilištu Ivanjščak kod Koprivnice (B-1 i B-2)*. Fond stručnih dokumenata SIZa za stamb. kom. djel. općine Koprivnica

DUIĆ, Ž. & URUMOVIĆ, K., 2007. Utjecaj strukture Legradskog praga na hidrogeološke značajke u području Koprivnice. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 19, str. 1-10.

FETH, J., H., 1966. Nitrogen compounds in natural water – a review. *Water Resources Research* 2, no. 1: str. 41-58.

FILIPOVIĆ, V., NAKIĆ, Z., PETOŠIĆ, D. & BUBALO, M., 2013. Prisutnost nitrata u podzemnim vodama; izvori i procesi. *HRVATSKE VODE*, 21(84), str. 119-128.

GJETVAJ, G. & POLLAK, Z., 1991. *Studija utjecaja crpilišta Delovi na nivo podzemnih voda*. Komunalno poduzeće - Bjelovar.

HALLE, R., 2004. *Kemizam i obradba vode*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

HEM, D., J., 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. USGS.

HLEVNJAK, B. & DUIĆ, Ž., 2017. *Vodoopskrbni sustav Koprivnice crpilište Ivanščak, verifikacija rada crpilišta 2012.-2017.* Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb. +

HLEVNJAK, B., POSAVEC, K., DUIĆ, Ž. & FERIĆ, P., 2014. *Vodoopskrbni sustav Koprivnice crpilište Ivanščak, Dopuna elaborata o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb.

HORVAT, A. J. M. & MARGETA, K., 2009. *Instrumentalna analiza*. Radni materijal za internu uporabu. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, zavod za analitičku kemiju.

KRUK, B. & DEDIĆ, Ž., 2015. Rudarsko-geološka studija Koprivničko-križevačke županije, sažetak. Zagreb, Hrvatski geološki institut (HGI).

ORTOLAN, Ž., POLLAK, Z., DESPOTOVIĆ, N., JOVIĆ, V. & ANDRIĆ, M., 1975./76. *Vodoistražni radovi na lokaciji tvornice celuloze Torčec*. IGH, Zagreb.

POLLAK, Z., GJETVAJ, G. & BAREZA, V., 1987. *Studija hidrogeoloških odnosa prilivnog područja i prijedlog zaštitnih zona te mjere tehničke zaštite crpilišta – Delovi*. Komunalno poduzeće - Bjelovar.

URUMOVIĆ, K. & HLEVNJAK, B., 1995. *Vodoopskrbni sustav Koprivnice. Izvedba zdenca Z-1 na crpilištu Ivanščak*. RGN fakultet, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. & GOLD, H., 1996. *Vodoopskrbni sustav Koprivnice. Hidrogeološka studija razvitka crpilišta Ivanščak*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb.

Službeni dokumenti:

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013).

Zakon o vodama (NN 153/2009).

Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/2013).

www izvori:

Hanna Instruments, 2017 . URL: <http://www.hannainst.hr/hr/turbidity-2>, (25.3.2017.)

Hrvatska enciklopedija, 2012a. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=48063>, (11.3.2017).

Hrvatska enciklopedija, 2012b. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=43912>, (11.3.2017).

Hrvatska enciklopedija, 2012c. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31983>, (11.3.2017).

Hrvatska enciklopedija, 2012d. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58715>, (11.3.2017).

Hrvatska enciklopedija, 2012e. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67686>, (11.3.2017).

Hrvatska enciklopedija, 2012f. URL:

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=38608>, (11.3.2017).

Koprivničke vode d.o.o. (KC vode), 2017. URL:

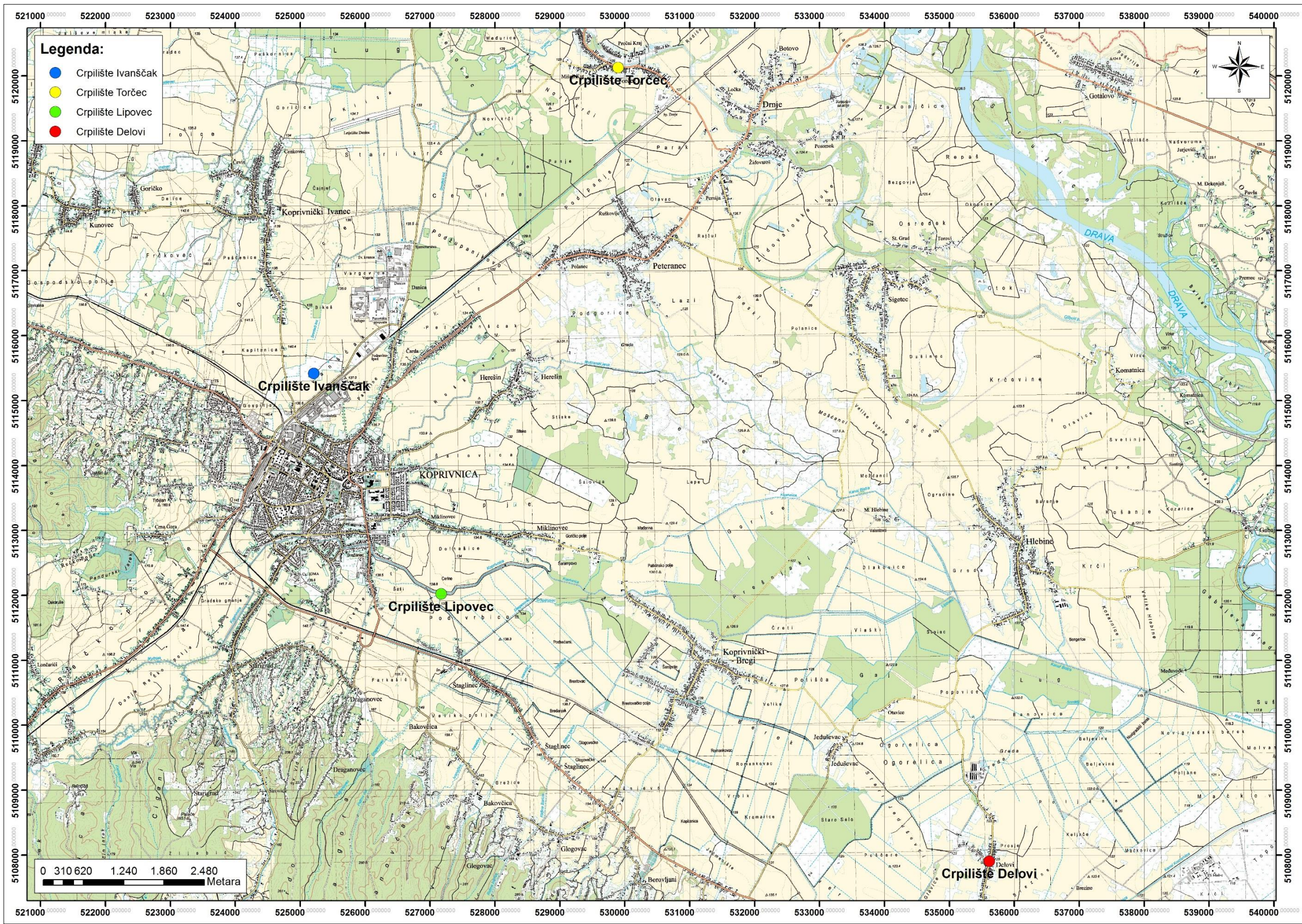
<http://www.kcvode.hr/proizvodnja-vode/>, (9.3.2017)

Oregon health authority, 2017. URL:

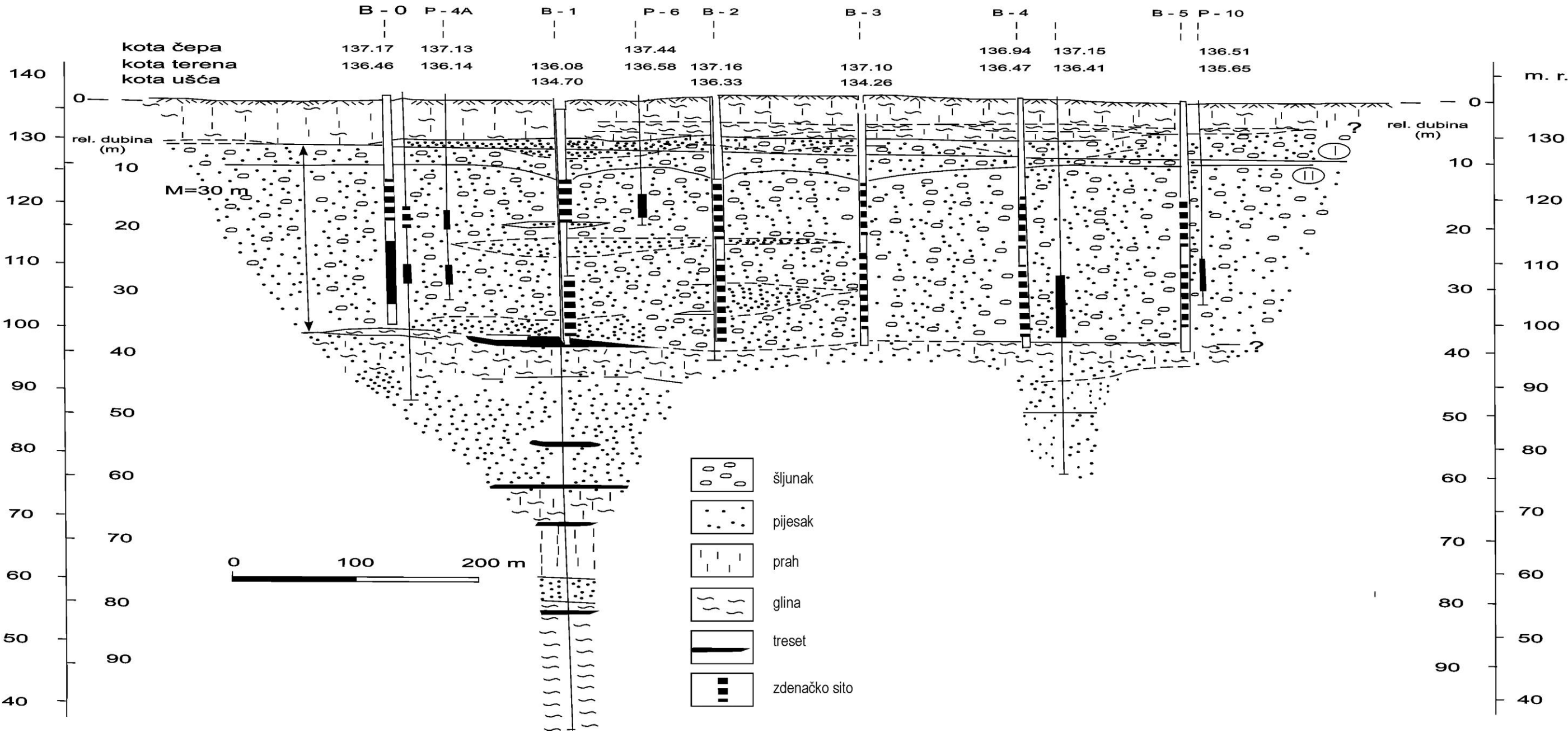
<http://www.oregon.gov/oha/PH/HEALTHYENVIRONMENTS/DRINKINGWATER/SOURCEWATER/Documents/gw/FeMnInGroundwater.pdf>, (18.3.2017).

PRILOZI

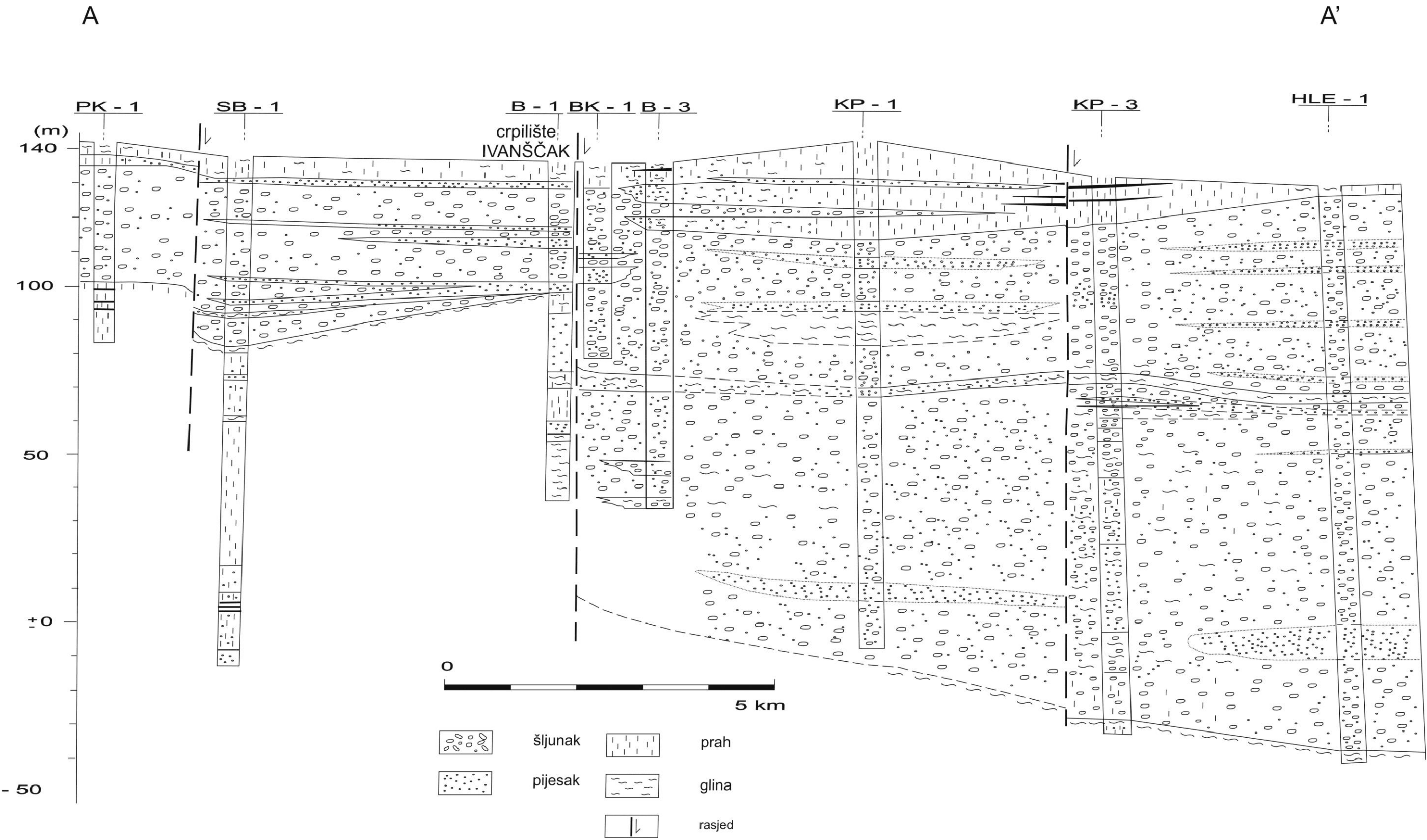
Prilog 1 Crpilišta u blizini crpilišta Ivanščak.



Prilog 2 Karakterističan profil vodonosnika na crpilištu Ivanščak (Duić & Urumović, 2007).



Prilog 3 Regionalni profil preko crpilišta Ivanščak (Duić & Urumović, 2007).



Prilog 4 Lokacija objekata na kojima je provedena analiza podzemne vode.

